

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**KONSTRUKČNÍ NÁVRH PÁSOVÉHO
PODVOZKU SERVISNÍHO ROBOTU
ŘÍZENÉHO PO KABELU**

*Construction Design of a Tracked Service Robot
Chassis Controlled by Cable*

Student:

Lubomír Prokop

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Studénka

OSTRAVA 2011

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lubomír Prokop

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Dráhy 1027

Brušperk

739 44

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PROKOP, L. *Konstrukční návrh pásového podvozku servisního robotu řízeného po kabelu*. Ostrava: katedra robototechniky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 54 s. Vedoucí práce: Studénka, M.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem navíjecího mechanismu ovládacího kabelu pro ovládání servisního robotu. V teoretické části práce jsou popsány druhy servisních robotů dle oblasti jejich působení. Dále je v práci popsán pásový podvozek a servisní roboti ovládaní po kabelu včetně aplikací těchto robotů. V další části práce jsou navrženy 3 varianty konstrukčního řešení navíjecího mechanismu. Následně je vybrána optimální varianta, která je v této práci podrobně popsána. Ve výpočtové části práce je proveden výpočet výkonu motoru navíjecího bubnu. Součástí práce jsou 3 modely variant řešení a model optimální varianty. Všechny tyto modely jsou vymodelovány v programu Pro/ENGINEER. Z optimální varianty je vytvořen sestavný výkres.

ANNOTATION OF THESIS

PROKOP, L. *Construction design of crawler chassis service robot cable controlled*. Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2011, 54 p. Supervisor: Studénka, M.

This thesis deals with product design of cable reel mechanism determined to control the service robot. The theoretical part describes the types of service robots according to their areas of operation. The study also described crawler chassis and cable controlled service robots including applications of these robots. In the next section three alternative design solutions to the reeling mechanism are proposed. Subsequently, the optimal option is chosen and this option is described in detail. In computational part the motor power for cable reel mechanism is computed. The work contains three models and model of the optimal variant. All these models are modeled in Pro / ENGINEER. From optimal design the assembly is created.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	9
1 ÚVOD.....	14
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PÁSOVÝCH PODVOZKŮ SERVISNÍCH ROBOTŮ A OVLÁDÁNÍ PO KABELU SERVISNÍCH ROBOTŮ.....	14
2.1 Rozdělení servisních robotů dle prostředí jejich působení	15
2.2 Pásové podvozky servisních robotů	16
2.2.1 Hlavní oblasti užití servisních robotů s pásovými podvozky	17
2.2.2 Konstrukce pásového podvozku	17
2.2.3 Výhody pásových podvozků	19
2.2.4 Nevýhody pásových podvozků	19
2.3 Ovládání po kabelu servisních robotů	20
2.3.1 Nejčastější aplikace servisních robotů ovládaných po kabelu	20
2.3.2 Navíjení ovládacího kabelu	21
2.3.3 Kabely pro ovládání	22
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ NAVÍJECÍHO MECHANISMU OVLÁDACÍHO KABELU.....	23
3.1 Požadavkový list	23
3.2 Varianta A	23
3.3 Varianta B	25
3.4 Varianta C	28
4 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	30
4.1 Hodnoty kritérií	30
4.2 Významnost kritérií	30
4.3 Kritéria hodnocení	31
4.4 Porovnání kritérií	31
4.5 Hodnocení kritérií	32
4.6 Určení významnosti	32
4.7 Vyhodnocení kritérií	33
4.8 Porovnání výsledků	34
5 POPIS OPTIMÁLNÍ VARIANTY.....	34
5.1 Parametry optimální varianty	34
5.2 Rám ozubených kol a napínací rám	36

5.3 Vodící jezdec.....	37
5.4 Přiváděcí mechanismus.....	38
5.5 Pohonná jednotka navíjecího bubnu	39
5.6 Navíjecí buben	40
5.7 Krytování a upevnění navíjecího mechanismu	41
6 VÝPOČTY.....	43
6.1 Předběžný výpočet výkonu motoru navíjecího bubnu	43
6.1.1 Kontrolní výpočet výkonu motoru	46
6.1.2 Kontrolní výpočet krouticího momentu motoru	47
7 ZÁVĚR	48
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	49
9 PŘÍLOHY.....	52

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Značka	Význam	Jednotka
B	Šířka navíjecího bubnu	[mm]
D	Průměr ovládacího kabelu	[mm]
D_1	Střední průměr 1. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_{1M}	Malý průměr závitu matice	[mm]
D_2	Střední průměr 2. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_3	Střední průměr 3. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_4	Střední průměr 4. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_5	Střední průměr 5. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_6	Maximální střední průměr ovládacího kabelu	[mm]
D_7	Střední průměr 7. vrstvy ovládacího kabelu	[mm]
D_{Max}	Maximální průměr navíjecího bubnu	[mm]
D_{Min}	Minimální průměr navíjecího bubnu	[mm]
D_{MinS}	Minimální střední průměr ovládacího kabelu	[mm]
F	Síla působící ve směru ideálního průběhu ovládacího kabelu	[N]
F_1	Síla v ovládacím kabelu způsobená hmotností kabelu	[N]
F'_1	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_2	Síla v ovládacím kabelu zvětšená o tření	[N]
F'_2	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_3	Síla v ovládacím kabelu zvětšená o tření	[N]
F'_3	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_4	Síla v ovládacím kabelu zvětšená o tření	[N]
F'_4	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_5	Síla v ovládacím kabelu zvětšená o tření	[N]
F_{5X}	Složka síly F_5 působící kolmo k ose rotace pohybového šroubu	[N]
F_{5Y}	Složka síly F_5 působící v ose pohybového šroubu	[N]
F'_5	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_6	Výsledná síla v ovládacím kabelu působící na navíjecí buben	[N]
F'_6	Síla v ovládacím kabelu při neaktivním pohonu	[N]
F_{Max}	Maximální přípustná síla v tahu ovládacího kabelu	[N]
F_N	Síla potřebná k napnutí řemene	[N]
F_O	Osová síla působící v ose rotace pohybového šroubu	[N]
F_{ON}	Osová síla v napínacím šroubu způsobená utažením pojistné matice	[N]
F_R	Reakční síla působící na cylindrické vedení	[N]
F_T	Třecí síla na cylindrickém vedení	[N]

F_Z	Síla působící na středním průměru pohybového šroubu	[N]
G	Vertikálně působící zatížení způsobené hmotností nadzdviženého kabelu	[N]
H_1	Nosná hloubka závitu pojistné matice	[mm]
H	Minimální nosná výška matice	[mm]
I_B	Moment setrvačnosti navíjecího bubnu	[kg·m ²]
I_C	Celkový moment setrvačnosti	[kg·m ²]
I_{CV}	Celkový moment setrvačnosti vodičího mechanismu	[kg·m ²]
I_H	Moment setrvačnosti hřídele	[kg·m ²]
I_K	Moment setrvačnosti ovládacího kabelu	[kg·m ²]
I_M	Moment setrvačnosti motoru	[kg·m ²]
I_{MV}	Moment setrvačnosti motoru vodičího mechanismu	[kg·m ²]
$I_{M \rightarrow B}$	Moment setrvačnosti motoru redukováný hřídel navíjecího bubnu	[kg·m ²]
$I_{MV \rightarrow P\check{S}}$	Moment setrvačnosti motoru redukováný na pohybový šroub	[kg·m ²]
I_{N1}	Moment setrvačnosti náboje 1	[kg·m ²]
I_{N2}	Moment setrvačnosti náboje 2	[kg·m ²]
I_{OK}	Moment setrvačnosti ozubeného kola	[kg·m ²]
I_P	Moment setrvačnosti převodovky	[kg·m ²]
I_{PC}	Celkový předběžný moment setrvačnosti	[kg·m ²]
$I_{P\check{S}}$	Moment setrvačnosti pohybového šroubu	[kg·m ²]
I_{PV}	Moment setrvačnosti převodovky vodičího mechanismu	[kg·m ²]
$I_{\check{R}K}$	Moment setrvačnosti řemenového kola	[kg·m ²]
L	Vzdálenost nadzdvižení kabelu	[mm]
L_0	Délka pružiny při stlačení	[mm]
L_1	Délka ovládacího kabelu v 1. vrstvě	[mm]
L_{11}	Délka kabelu navinutá v jednom závitu	[mm]
L_{100}	Délka ovládacího kabelu	[m]
L_2	Délka ovládacího kabelu v 2. vrstvě	[mm]
L_3	Délka ovládacího kabelu v 3. vrstvě	[mm]
L_4	Délka ovládacího kabelu v 4. vrstvě	[mm]
L_5	Délka ovládacího kabelu v 5. vrstvě	[mm]
L_6	Délka ovládacího kabelu v 6. vrstvě	[mm]
L_7	Délka ovládacího kabelu v 7. vrstvě	[mm]
L_C	Celková vypočtená délka ovládacího kabelu	[mm]
L_{DC}	Délka ovládacího kabelu, pro kterou je navíjecí buben dimenzován	[mm]
L_{max}	Délka pružiny při odlehčení	[mm]
L_{NK}	Délka nadzdviženého kabelu	[mm]

M_k	Krouticí moment na navíjecím bubnu vyvozený vnějšími silami	[N·m]
M_{kV}	Krouticí moment na pohybovém šroubu vyvozený vnějšími silami	[N·m]
M_M	Jmenovitý krouticí moment motoru	[N·m]
M_{MV}	Jmenovitý krouticí moment motoru pohybového šroubu	[N·m]
M_m	Krouticí moment způsobený třením pod maticí	[N·m]
M_P	Maximální přípustný krouticí moment převodovky	[N·m]
M'_P	Krouticí moment přenesený z motoru na hřídel navíjecího bubnu	[N·m]
M_{PV}	Maximální přípustný krouticí moment převodovky pohybového šroubu	[N·m]
M'_{PV}	Krouticí moment přenesený z motoru na pohybový šroub	[N·m]
M_{RS}	Rozběhový moment rotačního snímače polohy	[N·m]
M_u	Utahovací moment pojišťovací matice	[N·m]
M_z	Třecí moment na závitech matice	[N·m]
P	Stoupání metrického závitu	[mm]
P_M	Jmenovitý výkon motoru navíjecího bubnu	[W]
P_{MV}	Výsledný výkon motoru navíjecího bubnu	[W]
P_{MV}	Potřebný výkon motoru vodícího mechanismu	[W]
P_{PMax}	Předběžný výkon při navíjení ovládacího kabelu na maximální střední průměr navíjecího bubnu	[W]
P_{PMin}	Předběžný výkon motoru při navíjení ovládacího kabelu na minimální střední průměr navíjecího bubnu	[W]
P_{PVM}	Předběžný výkon motoru vodícího mechanismu	[W]
$P_{P\check{S}}$	Stoupání lichoběžníkového závitu	[mm]
Re	Mez kluzu materiálu třídy pevnosti 4.6	[MPa]
U_M	Jmenovité napětí motoru navíjecího bubnu	[V]
U_{MV}	Jmenovité napětí motoru vodícího mechanismu	[V]
W_k	Průřezový modul v krutu	[mm ³]
a	Výška koncového bodu navíjecího mechanismu	[mm]
a_t	Maximální zrychlení servisního robotu	[m·s ⁻²]
b_1	Šířka bočnice	[mm]
b_2	Šířka stěny napínáku	[mm]
d	Velký průměr závitu napínacího šroubu	[mm]
d_1	Malý průměr závitu napínacího šroubu	[mm]
d_2	Střední průměr závitu napínacího šroubu	[mm]
$d_{2P\check{S}}$	Střední průměr lichoběžníkového závitu	[mm]
d_3	Patní průměr závitu napínacího šroubu	[mm]
$d_{3P\check{S}}$	Malý průměr lichoběžníkového závitu	[mm]
d_k	Průměr kolíku	[mm]

$d_{p\zeta}$	Jmenovitý průměr lichoběžníkového závitu	[mm]
d_S	Třecí průměr plochy pod maticí	[mm]
f	Koeficient tření ocel na ocel	[-]
f_{KO}	Koeficient tření mezi polyuretanovým obalem ovládacího kabelu a ocelí	[-]
f_{KP}	Koeficient tření mezi polyuretanovým obalem ovládacího kabelu a plastovou průchodkou	[-]
f_m	Koeficient tření pod maticí	[-]
f_z	Koeficient tření v závitech pohybového šroubu	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m·s ⁻²]
i_P	Převodový poměr převodovky navíjecího bubnu	[-]
i_{PV}	Převodový poměr převodovky vodícího mechanismu	[-]
k_1	Koeficient bezpečnosti k výkonu motoru navíjecího bubnu	[-]
k_2	Koeficient bezpečnosti k síle v ovládacím kabelu	[-]
k_S	Koeficient bezpečnosti šroubového spoje	[-]
k_{VM}	Koeficient bezpečnosti k výkonu motoru vodícího mechanismu	[-]
m_1	Výška pojistné matice	[mm]
m_{K1}	Hmotnost 1 metru ovládacího kabelu	[kg]
m_{K100}	Hmotnost 100 metrů ovládacího kabelu	[kg]
m_M	Hmotnost motoru	[kg]
m_{MV}	Hmotnost motoru vodícího mechanismu	[kg]
m_{NK}	Hmotnost nadzdviženého kabelu	[kg]
m_P	Hmotnost převodovky	[kg]
m_{PV}	Hmotnost převodovky pohybového šroubu	[kg]
m_{VT}	Hmotnost vodící trubky	[kg]
n	Počet závitů ovládacího kabelu navinutých v jedné vrstvě	[-]
n_{Bmax}	Maximální otáčky navíjecího bubnu	[ot·min ⁻¹]
n_M	Jmenovité otáčky motoru navíjecího bubnu	[ot·min ⁻¹]
n_{MV}	Jmenovité otáčky motoru vodícího mechanismu	[ot·min ⁻¹]
$n_{\zeta max}$	Maximální otáčky pohybového šroubu	[ot·min ⁻¹]
p	Tlak v závitech matice	[MPa]
p_1	Tlak působící na plochu v otvorech pro kolíky (bočnice)	[MPa]
p_2	Tlak působící na plochu v otvorech pro kolíky (tělo napínáku)	[MPa]
p_D	Dovolený tlak v závitech matice	[MPa]
p_{DK}	Dovolený tlak kolíkového spoje	[MPa]
s	Otvor pro klíč matice M8	[mm]
t	Časový úsek, během kterého servisní robot zrychlí na maximální rychlost	[s]

v_{Max}	Maximální rychlost robotu	$[m \cdot s^{-1}]$
x	Stoupání šroubovice ovládacího kabelu za sekundu	$[mm \cdot s^{-1}]$
z	Minimální počet závitů matice	$[-]$
$\hat{\alpha}_1$	Úhel alfa 1	$[rad]$
$\hat{\alpha}_2$	Úhel alfa 2	$[rad]$
$\hat{\alpha}_3$	Úhel alfa 3	$[rad]$
$\hat{\alpha}_4$	Úhel alfa 4	$[rad]$
$\hat{\alpha}_5$	Úhel alfa 5	$[rad]$
β	Vrcholový úhel metrického závitu	$[^\circ]$
β_Z	Vrcholový úhel trapézového závitu	$[^\circ]$
ϵ_{BMax}	Maximální úhlové zrychlení navíjecího bubnu	$[rad \cdot s^{-2}]$
ϵ_{BMin}	Minimální úhlové zrychlení navíjecího bubnu	$[rad \cdot s^{-2}]$
ϵ_{SMax}	Maximální potřebné zrychlení pohybového šroubu	$[rad \cdot s^{-2}]$
η_C	Celková účinnost pohonu navíjecího bubnu	$[%]$
η_{CV}	Celková účinnost pohonného systému vodícího mechanismu	$[%]$
η_{LO}	Účinnost ložiska	$[%]$
η_M	Maximální účinnost motoru	$[%]$
η_{MV}	Účinnost motoru vodícího mechanismu	$[%]$
η_P	Maximální účinnost převodovky	$[%]$
η_{PV}	Účinnost převodovky vodícího mechanismu	$[%]$
η_{RP}	Maximální účinnost řemenového převodu	$[%]$
η_S	Účinnost pohybového šroubu	$[%]$
σ_{Red}	Redukované napětí	$[MPa]$
σ_t	Napětí v tahu	$[MPa]$
τ_{DS}	Dovolené napětí ve střihu	$[MPa]$
τ_k	Napětí v krutu	$[MPa]$
τ_S	Napětí ve střihu kolíkového spoje	$[MPa]$
φ'	Třecí úhel závitu pohybového šroubu	$[^\circ]$
φ'_M	Třecí úhel závitu napínacího šroubu	$[^\circ]$
ψ	Úhel stoupání závitu pohybového šroubu	$[^\circ]$
ψ_N	Úhel stoupání závitu napínacího šroubu	$[^\circ]$
ω_{BMax}	Maximální úhlová rychlost navíjecího bubnu	$[rad \cdot s^{-1}]$
ω_{BMin}	Minimální úhlová rychlost navíjecího bubnu	$[rad \cdot s^{-1}]$
ω_{SMax}	Maximální úhlová rychlost pohybového šroubu	$[rad \cdot s^{-1}]$

1 ÚVOD

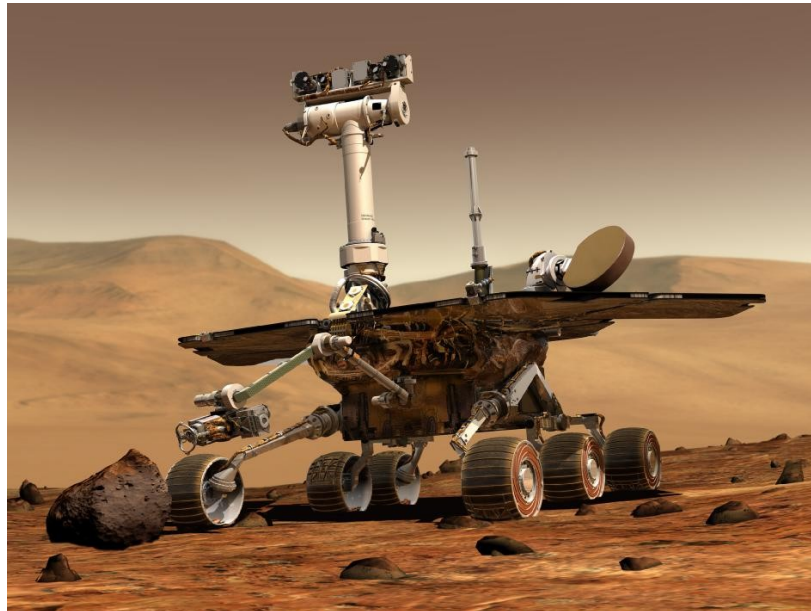
Bakalářská práce je zaměřena na vytvoření konstrukčního návrhu navíjecího mechanismu ovládacího kabelu pro řízení servisního robotu. Navržený mechanismus musí být schopen v reálném čase povolovat případně dopínat ovládací kabel. Zároveň musí umožnit přenos dat pro řízení podvozku servisního robotu a také přenos dat získaných ze senzorického subsystému servisního robotu. Navíjecí mechanismus je konstruován na robot „Ares” vytvořený na katedře Robototechniky. Ovšem zároveň je zde požadavek na minimalizaci rozměrů a modulárnost celé konstrukce navíjecího mechanismu. Tímto se částečně zajistí možnost aplikace konstruovaného mechanismu i na jiných servisních robotech.

Hlavním podnětem pro konstrukci navíjecího mechanismu ovládacího kabelu je možnost řízení servisního robotu v oblastech, ve kterých není možné použití bezdrátového přenosu řídicího signálu. Tento mechanismus je tedy vhodný zejména pro pyrotechnické roboty, roboty pracující v okolí nebo uvnitř jaderných reaktorů případně při zásahu v budovách se stěnami, kterými nepronikne bezdrátově přenášený signál. Operátor tak může ovládat servisní robot z bezpečné vzdálenosti.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU PÁSOVÝCH PODVOZKŮ SERVISNÍCH ROBOTŮ A OVLÁDÁNÍ PO KABELU SERVISNÍCH ROBOTŮ

Servisní roboty jsou zařízení určená k provádění nevýrobních činností. Vyznačují se subsystémem mobility, specificky konstruovanou nástavbou, vlastním, případně záložním zdrojem energie. Dále jsou vybaveny senzory a řídicím systémem dostačujícím pro plně autonomní, částečně autonomní či operátorem prováděné řízení. Tyto roboty jsou vzhledem k požadované oblasti použití a konstrukční náročnosti celkového řešení vyráběny zpravidla kusovou výrobou. Toto se také odráží ve vysoké pořizovací ceně servisních robotů. I přesto jsou stále častěji využíváným prostředkem k výkonu jak civilních, tak i vojenských úkonů. Oblast jejich využitelnosti je velmi široká, od bojového prostoru, kde vykonávají činnosti pro člověka příliš nebezpečné přes průzkum nejhlubších oceánů na Zemi až po rutinní úkony v domácnostech. [1]

Nasazení servisních robotů se ovšem neomezuje pouze na planetu Zemi. Velmi dobrými příklady tohoto tvrzení jsou roboty MER-A „*Spirit*” (Obr. 1.) a MER-B „*Opportunity*”. Tyto roboty byly vyslány v rámci mise „*Mars Exploration Rover*” Americkou kosmickou agenturou NASA na planetu Mars, kde úspěšně přistály a splnily své úkoly.



Obr. 1. MER-A „Spirit”. [5]

2.1 Rozdělení servisních robotů dle prostředí jejich působení

Servisní roboty určené pro působení v běžném prostředí:

- roboty pro monitorování
- roboty pro údržbu
- roboty pro čištění
- roboty pro manipulaci

Servisní roboty určené pro působení v obtížně dosažitelném prostředí:

- roboty pro průzkum sutin
- roboty pro průzkum potrubí
- roboty pro průzkum větracích šachet
- roboty pro průzkum hlubin oceánů

Servisní roboty určené pro působení v nebezpečném prostředí

- roboty pro průzkum prostorů zamořených radiací či nebezpečnými plyny
- roboty pro likvidaci výbušných zařízení jako například: nášlapných min, improvizovaných bomb, či tlakových lahví hrozících výbuchem
- roboty pro práci v kosmickém vzduchoprázdnu
- roboti nesoucí útočné zbraně (Obr. 2.) [1]



Obr. 2. Útočný robot typu „SWORD”. [6]

2.2 Pásové podvozky servisních robotů

Vzhledem k širokému spektru prostředí, ve kterých se pohybují servisní roboty, jsou pásové podvozky díky svým výhodám nejčastěji voleným subsystémem mobility. Pro řízení pásových podvozků se užívá diferenční řízení. To znamená, že pásové podvozky zatáčí přibrzdováním příslušného pásu. Vzhledem ke složitosti diferenčního řízení bývají zpravidla servisní roboty s pásovým podvozkem řízeny operátorem. [1]

2.2.1 Hlavní oblasti užití servisních robotů s pásovými podvozky

Vojenství a policie

- roboty vybavené útočnými zbraněmi
- roboty průzkumné
- roboty sloužící k likvidaci výbušnin

Jaderný průmysl

- dekontaminace
- monitorování

Stavebnictví

- demoliční a destrukční práce
- dopravní stavitelství
- hrubá stavba

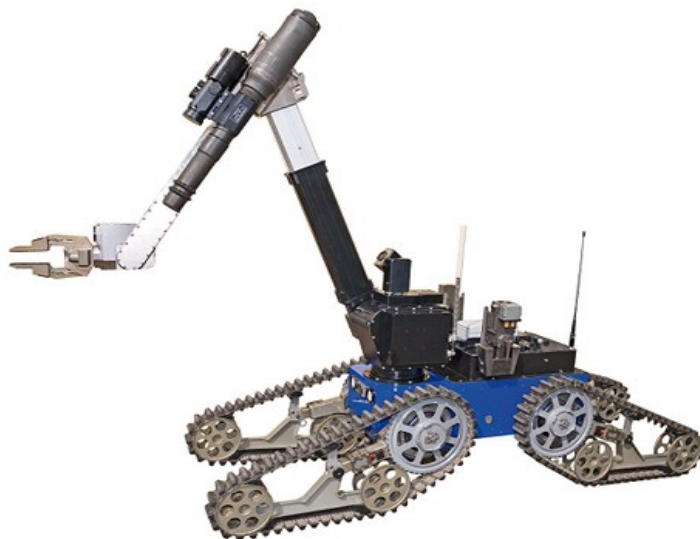
Zemědělství a lesnictví

- sadba a sklizeň plodin
- sklizeň ovoce
- úprava půdy před a po sadbě
- těžba dřeva, manipulace s kmeny stromů [1]

2.2.2 Konstrukce pásového podvozku

Pásové podvozky jsou zpravidla tvořeny hnacím kolem, napínacím kolem a několika vodícími koly (Obr. 4.). Tato kola jsou povlečena spojeným pásem a rozpoložena v daném tvaru, který nejlépe vyhovuje použití robotu. Materiály použité při výrobě pásových podvozků se volí převážně podle oblasti nasazení servisního robotu a jeho požadované nosnosti.

Některé pásové podvozky mají možnost měnit svůj tvar případně polohu za pohybu, což umožňuje překonávání i složitých překážek jakými jsou trosky budov a vysoké zídky. Měnitelné pásové podvozky mají také možnost kompenzovat náklon robota (Obr. 3.). [1]



Obr. 3. Robot „tEODor”. [7]

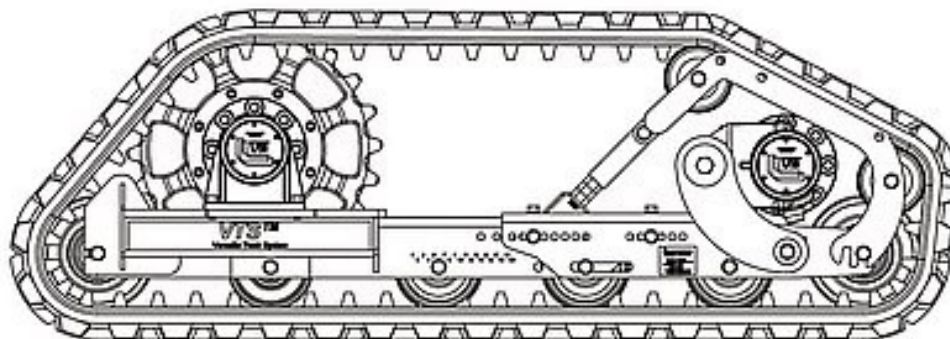
Hnací kolo je opatřeno výstupky, které při otáčení zapadávají do otvorů v pásu a tím pásem pohybují, případně je otvory opatřeno hnací kolo a výstupky jsou umístěny na pásu. Je naprosto nezbytné zajistit, aby bylo hnací kolo neustále v kontaktu s pásem, toto zajišťuje kolo napínací.

Napínací kolo je taktéž opatřeno výstupky, případně otvory a slouží k potřebnému napnutí pásu, proto je uloženo v pohyblivém vedení. Posuv napínacího kola může být realizován různými principy. U robotů menších rozměrů se nejčastěji používá napínání mechanické, u kterého lze poměrně jednoduše zajistit stálou polohu napínacího kola. Při vyšších hmotnostech robota se používá napínání pneumatické případně hydraulické.

Vodící kola zajišťují spolehlivé vedení pásu. Tato kola bývají odpružená a na styčné ploše s pásem potažena pryží, což má za následek tlumení rázů.

Pásky bývají vyráběny z pryží, ocelí a lehkých kovů dle požadované nosnosti a účelu podvozku. Pro menší rozměry se vyrábějí jako jednolitý celek (pryžové pásky), větší pásky se vyrábějí z článků, které spojením vytvoří ohebný pás (ocelové pásky). Ocelové pásky velmi těžkých zařízení bývají doplněny vyjmutelnými pryžovými destičkami, které se nasazují

v případě, kdy by pásový podvozek mohl poškodit podloží, nebo by mohlo dojít k poškození pásu.



Obr. 4. Schéma pásového podvozku. [8]

2.2.3 Výhody pásových podvozků

- v závislosti na délce podvozku možnost překonávat překážky jako například: příkopy, díry, balvany, sutiny
- velká styčná plocha mezi pásy a podložím, což umožňuje jízdu těžkých robotů po velmi měkkém podloží, kluzkém podloží nebo při ostrém stoupání či klesání podloží
- velké stabilita celého robotu
- možnost otáčení okolo vertikální osy s prakticky nulovým poloměrem otáčení
- poměrně snadná výměna pásu

2.2.4 Nevýhody pásových podvozků

- složitá údržba velkých ocelových pásů
- velká hmotnost velkých ocelových pásů
- poměrně nízká přípustná rychlost
- náchylnost k zanesení spojovaných pásů a z toho plynoucí neustálá potřeba důkladné údržby obzvláště v nehostinných prostředích jako jsou například pouště

2.3 Ovládání po kabelu servisních robotů

Vzhledem k dostupným technologiím bezdrátového přenosu dat je ovládání servisních robotů po kabelu spíše výjimkou. Ovládání po kabelu se používá tam, kde není možné užití bezdrátového ovládání. Skrze vodič jsou k servisnímu robotu přiváděny instrukce v podobě řídicích signálů, které vydává operátor pomocí ovládacího zařízení. Velkou výhodou robotů ovládaných po kabelu určených především pro průzkum pod vodní hladinou je, že při poruše případně zaklesnutí do skalních výčnělků je možné proudy přemístěného robota lokalizovat pomocí ovládacího kabelu.

2.3.1 Nejčastější aplikace servisních robotů ovládaných po kabelu

- pyrotechnické roboty – jsou určeny pro krajně nebezpečné situace (Obr. 5.) Pyrotechnický robot je nasazován v případech, u kterých je velká šance, že dojde k odpálení nálože v momentě, kdy se ji bude pyrotechnik snažit zneškodnit. S nástupem pyrotechnického robota bývá uvedena do provozu rušička signálu, která zabraňuje dálkovému odpálení nastražené nálože například pomocí mobilního telefonu či vysílačky, což zároveň znemožní funkci bezdrátově ovládaných robotů.



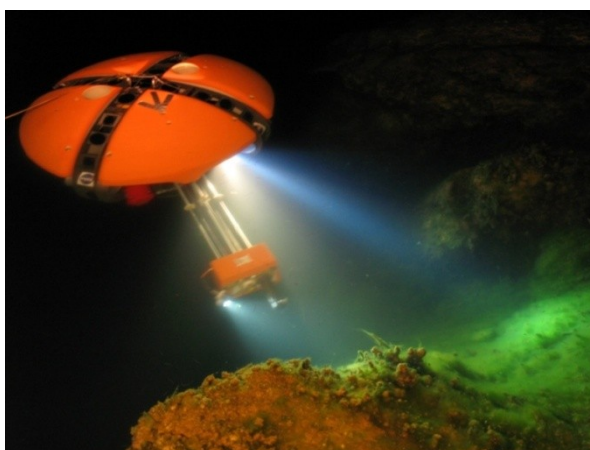
Obr. 5. Pyrotechnický robot. [9]

- roboti určení pro průzkum podzemních prostor, případně uzavřených prostor, skrze jejichž zdi neprojde řídicí signál, například robot Versa Trax 150 určený pro průzkum potrubí (Obr. 6.)



Obr. 6. Průzkumný robot „Versa Trax 150”. [10]

- roboti určení pro zkoumání a vykonávání činností pod vodní hladinou (Obr. 7.)



Obr. 7 Podvodní průzkumný robot „DepthX”. [11]

2.3.2 Navíjení ovládacího kabelu

Navíjecí mechanismus ovládacího kabelu bývá zpravidla umístěn v zadní části servisního robotu. Skládá se ze tří hlavních částí: rám, pohon a navíjecí buben s ovládacím kabelem. Navíjecí mechanismus je koncipován jako periferní zařízení, které je možné

aplikovat na servisního robota ve velmi krátké době. Tomuto je uzpůsobeno upínání celého mechanismu, které je realizováno pomocí rychlospojek.

Propojení navíjecího mechanismu (respektive ovládacího kabelu) se servisním robotem bývá řešeno pomocí konektorů. Užívají se konektory v různých verzích, od extrémně odolných (Obr. 8.), až po konvenční konektory upravené pro nepříznivé podmínky (Obr. 9.).



Obr. 8. Dvoukanálový konektor „TFOCA 2”. [12]



Obr. 9. Jednokanálový konektor „TFOCA 1”. [13]

2.3.3 Kabely pro ovládání

Optické kabely

V dnešní době se pro ovládání servisních robotů užívají zejména kabely z optických vláken. Řídicí signál je převeden na světelné paprsky, které jsou vedeny optickým vláknem. Po průchodu optickým kabelem jsou světelné paprsky převedeny zpět na řídicí signál.

Mezi největší výhody optických kabelů patří necitlivost vůči rušení vlivem elektromagnetického pole, přenosová rychlost v řádech Gigabitů za sekundu a velmi nízká hmotnost. Nevýhodou může být vyšší pořizovací cena jak optického kabelu, tak dodatečného zařízení nutného pro správnou funkci. [14]

Metalické kabely

Užití metalických kabelů je v dnešní době již spíše výjimkou. Informace je zde kódována pomocí elektrických impulsů. Metalické kabely se zpravidla užívají pro kratší vzdálenosti. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady, jednoduchá montáž a velmi rozmanitý sortiment těchto kabelů. Největšími nevýhodami jsou nutnost stínění při vedení skrze elektromagnetické pole, podstatně menší přenosová rychlost než u optických kabelů, která se u středních vzdáleností pohybuje v řádech desítek Megabitů za sekundu a mnohonásobně vyšší hmotnost než u optických kabelů. [15]

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ NAVÍJECÍHO MECHANISMU OVLÁDACÍHO KABELU

3.1 Požadavkový list

- Délka ovládacího kabelu 100 m
- Odolnost ovládacího kabelu
 - Musí být vhodný pro automatické dopínání
 - Musí být odolný proti vlhkosti a prachu
 - Musí odolávat mírnému smýkání po nerovném terénu
- Minimalizace hmotnosti napínacího mechanismu max. 10 kg
- Navrhnout modulární koncepci mechanismu

3.2 Varianta A

Základní specifikace:

- Výška / Šířka / Délka (bez příváděcí trubky) 256 / 492 / 203 [mm]
- Hmotnost cca 15,6 kg
- Ovládací kabel STP metalický kabel

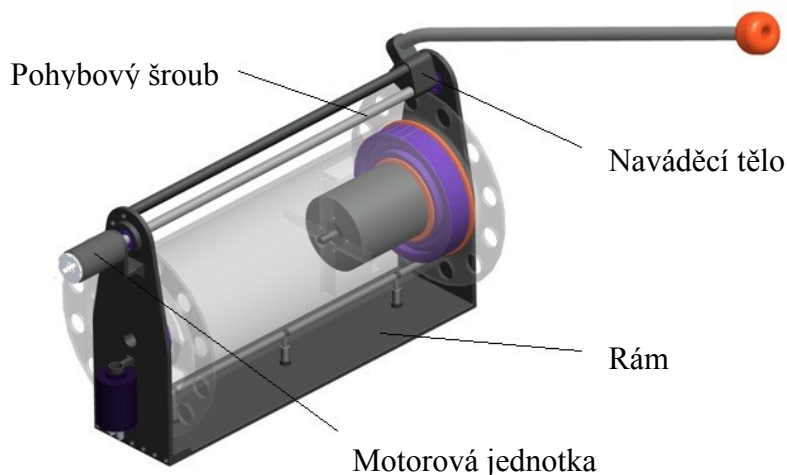
Konstrukce se skládá z dvoudílného rámu, jehož oba díly jsou řešeny jako svařence (Obr. 10.). K tomuto rámu je přišroubován úchyt motoru (Obr. 11.), na kterém je

nalisováno ložisko navíjecího bubnu. Navíjecí buben je řešen jako svařenec z hliníkových profilů a je umístěn na ložiskách. Zajišťuje navinutí celé délky ovládacího kabelu.

Použití metalického kabelu se nejvíce projevilo ve značných rozměrech navíjecího bubnu. Z tohoto důvodu bylo možné umístit pohonnou jednotku přímo do navíjecího bubnu, čímž se zvětšila konstrukční náročnost, ale podstatně se snížily vnější rozměry mechanismu. Pohonná jednotka je s navíjecím bubnem propojena v ose rotace bubnu. Další důležitou část tvoří pohybový šroub uložený v ložiskách. Tento šroub zajišťuje pojiždění naváděcího mechanismu a tím realizuje navíjení ovládacího kabelu v šroubovících.

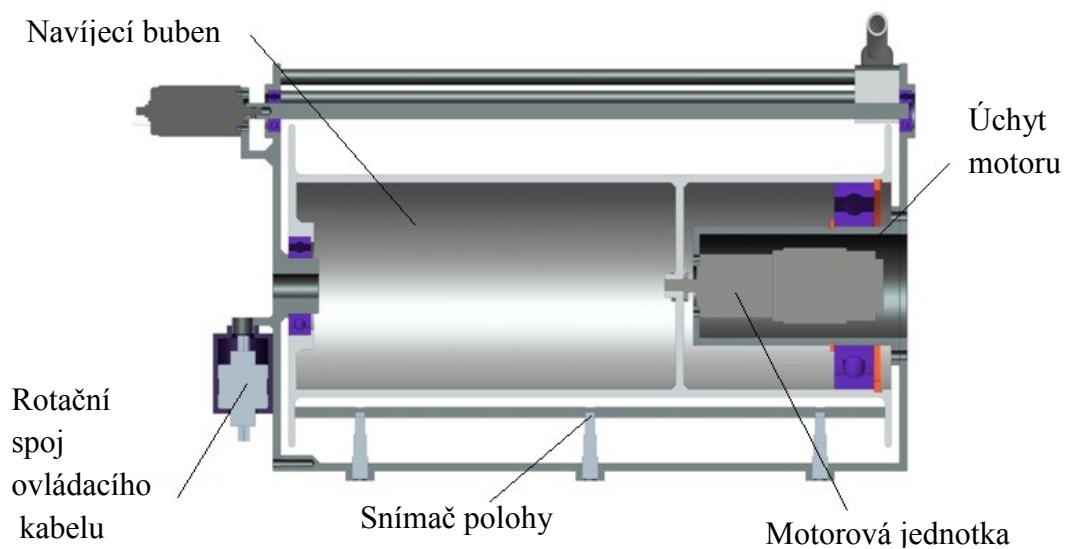
Naváděcí mechanismus je tvořen naváděcím tělem, ve kterém je závit pro pohybový šroub. Otáčení naváděcího těla okolo osy rotace pohybového šroubu je zabráněno cylindrickým vedením. Součástí naváděcího těla je také příváděcí trubka, která slouží k přivedení ovládacího kabelu k navíjecímu bubnu. Rotační pohyb pohybového šroubu je uskutečňován a řízen skrze druhou pohybovou jednotku. Tato pohybová jednotka je přišroubována k vnější části rámu.

Rychlost navíjení ovládacího kabelu je určována podle rychlosti robota. Ovládací kabel je na navíjecí buben navíjen ve více vrstvách. Z toho vyplývá, že i při jízdě robota konstantní rychlostí se musí navíjecí buben otáčet různými otáčkami. Proto je navíjecí mechanismus doplněn ve spodní části o zařízení k měření aktuálního průměru ovládacího kabelu navinutého na navíjecím bubnu. Z této hodnoty již řídicí systém dokáže vypočítat potřebné otáčky navíjecího bubnu.

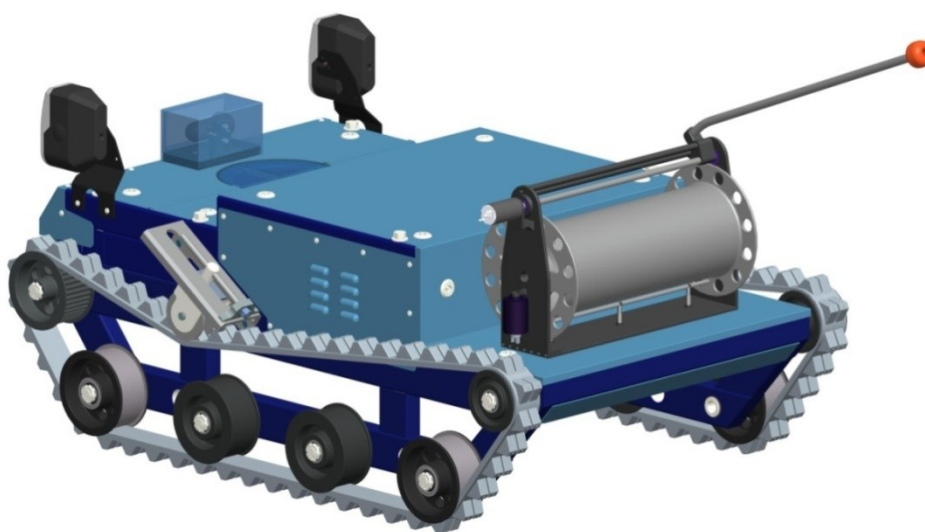


Obr. 10. Varianta A - axonometrie

Ovládací kabel je přiveden do vnitřního prostoru navíjecího bubnu, odkud je vyveden k rotačnímu spoji. Z rotačního spoje je dále veden a připojen konektorem k servisnímu robotu.



Obr. 11. Varianta A - řez



Obr. 12. Varianta A – aplikace na robota „Ares”

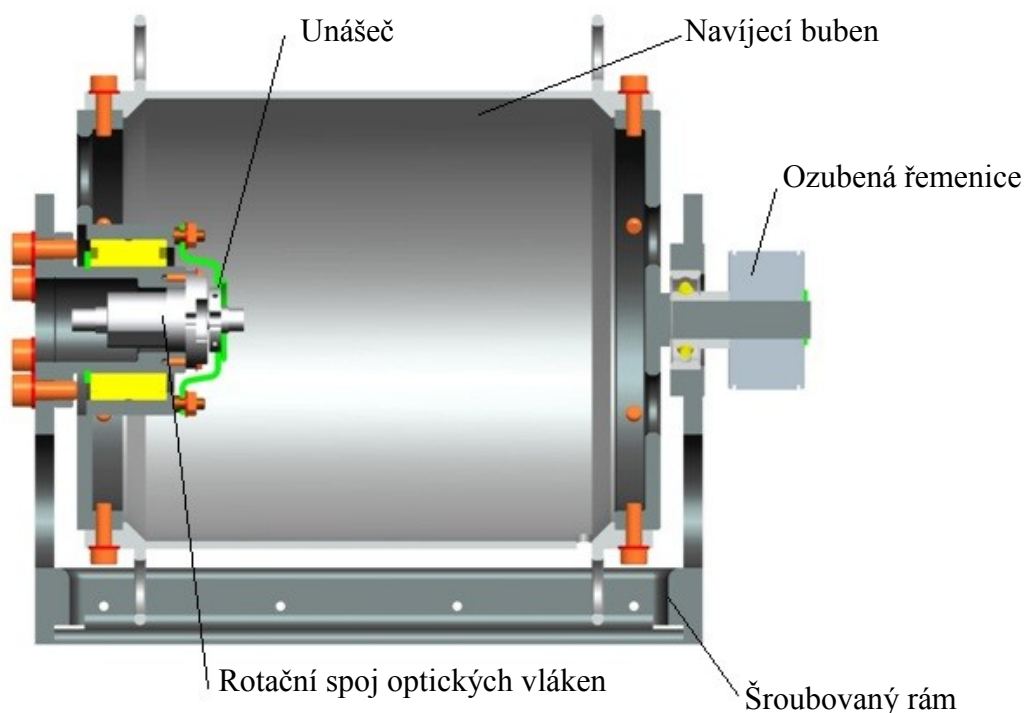
3.3 Varianta B

Základní specifikace:

- | | |
|--|----------------------|
| • Výška / Šířka / Délka (bez příváděcí trubky) | 170 / 210 / 220 [mm] |
| • Hmotnost | cca 7 kg |
| • Ovládací kabel | SM optický kabel |

Hlavní konstrukční prvek této varianty tvoří rám sešroubovaný ze čtyř dílů. Jsou to dvě bočnice a dva nosníky, pomocí kterých jsou bočnice spojeny. Navíjecí buben je uchycen skrze dvě příruby, které jsou uloženy v ložiskách (Obr. 13.). V ose rotace navíjecího bubnu je umístěn rotační spoj optických vláken. Jeho stacionární část je uchycena šrouby k rámu, rotační část vykonává rotační pohyb spolu s navíjecím bubnem. Tento rotační pohyb je na rotační část spoje přenášen pomocí unášeče, který je přišroubován k přírubě navíjecího bubnu.

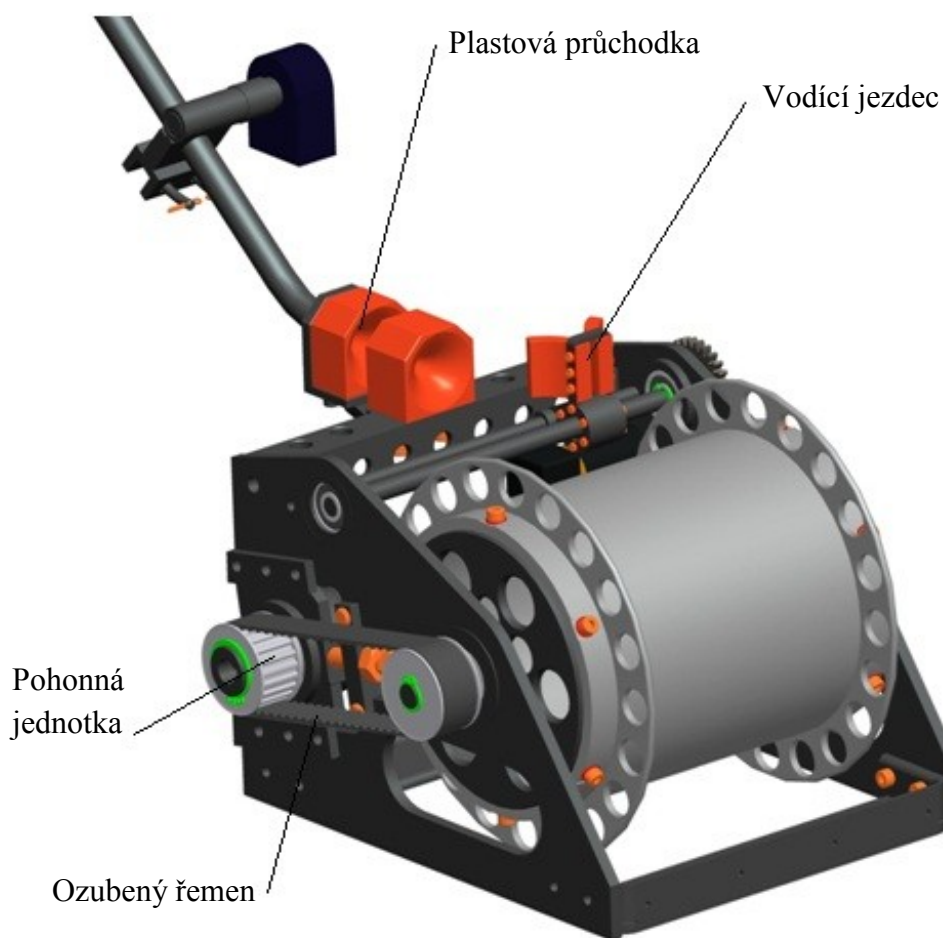
Ovládací kabel je vyveden do vnitřní části navíjecího bubnu, kde je připojen k rotačnímu spoji optických vláken. Z tohoto rotačního spoje je dále vyveden a připojen pomocí konektoru k servisnímu robotu.



Obr. 13. Varianta B – řez

Pohonná jednotka je uložena v posuvném vedení rovnoběžně s osou rotace navíjecího bubnu (Obr. 14.). Rotační pohyb je z pohonné jednotky na navíjecí buben převáděn pomocí převodu ozubeným řemenem. Napínání ozubeného řemenu zajišťuje napínací šroub. Tento šroub je veden závitovým otvorem, který je vyroben v rámu. Proti povolení vlivem vibrací je napínací šroub zajištěn maticí.

Navíjení ovládacího kabelu ve šroubovících zajišťuje naváděcí mechanismus. O pohon vodícího jezdc se skrývá převod ozubenými koly a pohybový šroub stará druhá pohonná jednotka. Zamezení rotace vodícího jezdc okolo osy rotace pohybového šroubu zajišťuje cylindrické vedení. Příváděcí trubka je uložena otočně okolo svislé osy a pohybuje se v rozmezí 120° . Ovládací kabel je z příváděcí trubky k navíjecímu bubnu veden a směřován plastovými průchodkami. Tyto průchodky jsou koncipovány tak, aby byl vždy zajištěn minimální přípustný poloměr ohybu ovládacího kabelu.



Obr. 14. *Variant B – axonometrie*

Příváděcí trubka je rozdělena na dvě části, které jsou spojeny osou. K této ose je za pomoci tvarového spoje připevněna hřídel rotačního snímače polohy. Při nezatíženém stavu je příváděcí trubka ve zmíněném spoji rozevřena. Napínáním ovládacího kabelu dochází k uzavírání spoje. Veškeré informace o rozevření respektive uzavření spoje snímá rotační snímač polohy a předává je řídicímu počítači servisního robotu. Ten na základě takto získaných informací řídí obě pohonné jednotky.



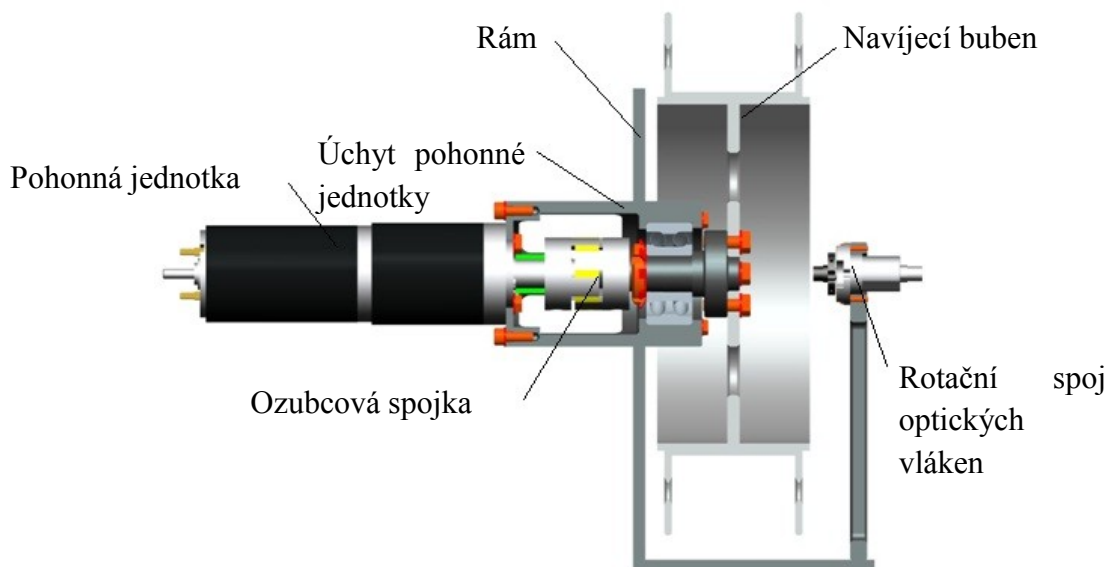
Obr. 15. Varianta B – aplikace na robota „Ares”

3.4 Varianta C

Základní specifikace:

- | | |
|--|----------------------|
| • Výška / Šířka / Délka (bez příváděcí trubky) | 292 / 300 / 224 [mm] |
| • Hmotnost | cca 6 kg |
| • Ovládací kabel | SM optický kabel |

Na rozdíl od předchozích variant je hlavním nosným prvkem tohoto mechanismu pouze jednostranný rám. K tomuto rámu jsou přivařeny úchyty pohonných jednotek, které zároveň slouží jako ložiskové domky (Obr. 16.). Pohonná jednotka navíjecího bubnu je umístěna v ose rotace zmíněného bubnu (Obr. 17.).

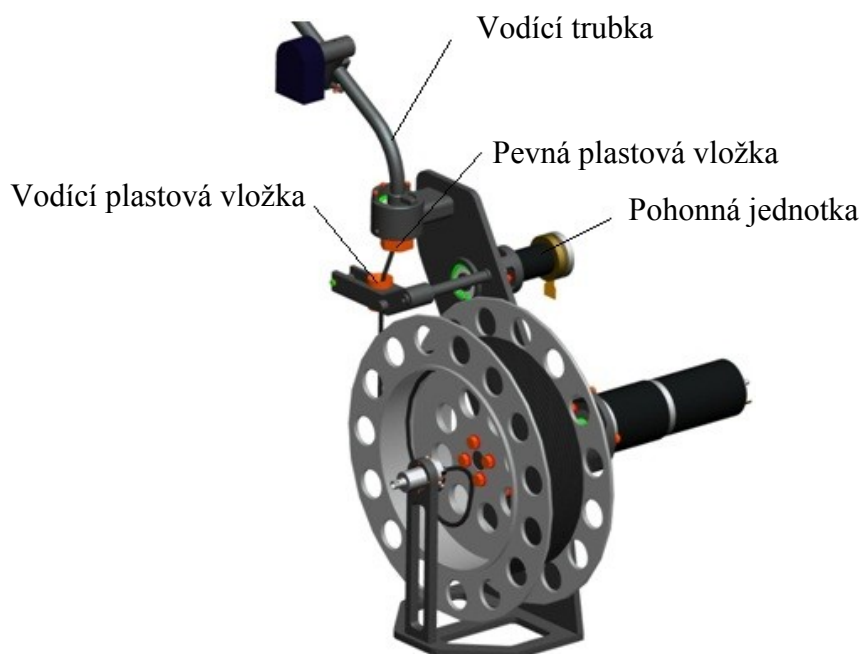


Obr. 16. Varianta C – řez

Navíjení ovládacího kabelu v šroubovicih zajišťuje naváděcí mechanismus. Ten je poháněn druhou pohonnou jednotkou skrze pohybový šroub. Rotaci mechanismu je zabráněno cylindrickým vedením. Vodící plastová vložka je v naváděcím mechanismu umístěna posuvně.

Vodící trubka je k rámu upevněna otočně okolo svislé osy. Pro snížení tření je toto otočné uložení realizováno ložiskem. Vodící trubka má možnost natáčení v rozmezí 120° . Soustava vodící plastové vložky a pevné plastové vložky je konstruována tak, aby byl vždy zajištěn minimální poloměr ohybu ovládacího kabelu.

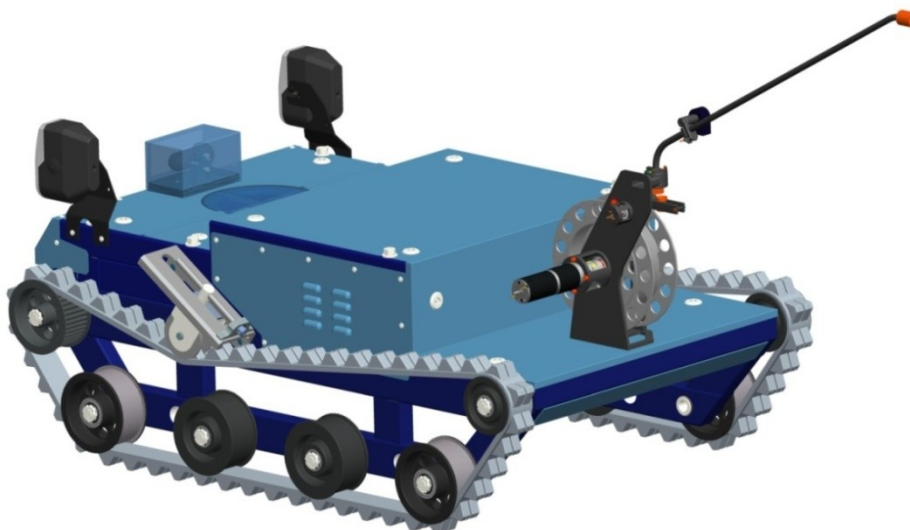
Snímání tahu v kabelu a tím řízení celého navíjecího mechanismu je řešeno obdobně, jako u varianty B. Příváděcí trubka je rozdělena na dvě části, které jsou spojeny osou. K této ose je za pomoci tvarového spoje připevněna hřídel rotačního snímače polohy. Při nezátíženém stavu je příváděcí trubka ve zmíněném spoji rozevřena. Napínáním ovládacího kabelu dochází k uzavírání spoje. Veškeré informace o rozevření respektive uzavření spoje snímá rotační snímač polohy a předává je řídicímu počítači servisního robotu. Ten na základě takto získaných informací řídí obě pohonné jednotky.



Obr. 17. Varianta C s ovládacím kabelem – axonometrie

Z obrázku (Obr. 17.) je patrné, že velkou změnu prodělal také navíjecí buben. Došlo u něj především k zúžení a také ke zvětšení jeho průměru. Tímto bylo docíleno nižších

potřebných otáček bubnu při maximální rychlosti servisního robota. Také se ale zvýšil počet vrstev, ve kterých je ovládací kabel navíjen, čímž roste riziko, zaseknutí mechanismu vlivem vzniku oblastí s nadměrným počtem navinutých šroubovic ovládacího kabelu.



Obr. 18. Varianta C – aplikace na robota „Ares”

4 VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Pro vybrání optimální varianty navíjecího mechanismu hodnotovou analýzou je použita metoda porovnání v trojúhelníku párů.

4.1 Hodnoty kritérií

V tabulce Tab. 1 je uveden přehled bodového hodnocení variant.

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

Tab. 1 Hodnoty kritérií

4.2 Významnost kritérií

Nejvyšší	2
Nejnižší	1

Tab. 2 Významnost kritérií

4.3 Kritéria hodnocení

Tabulka Tab. 3 obsahuje přehled kritérií hodnocení včetně jejich popisu.

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritérií
K1	Rozměry	Maximální rozměry navíjecího mechanismu bez příváděcí trubky.
K2	Hmotnost	Maximální hmotnost navíjecího mechanismu bez krytování.
K3	Konstrukce	Konstrukční složitost navíjecího mechanismu.
K4	Spolehlivost dopínání	Spolehlivost navrženého systému dopínání.
K5	Přenosová rychlost	Přenosová rychlost použitého kabelu.
K6	Kompaktnost konstrukce	Kompaktní tvar a rozměry.
K7	Zastavěná plocha	Připojovací plocha mechanismu.
K8	Odolnost kabelu	Odolnost ovládacího kabelu proti mechanickému poškození.

Tab. 3 Kritéria hodnocení

4.4 Porovnání kritérií

V tabulce Tab. 4 jsou již pro jednotlivé varianty konkrétně uvedeny hodnoty jednotlivých kritérií.

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
K1	Výška/šířka/délka 256 / 492 / 203 [mm]	Výška/šířka/délka 170 / 210 / 220 [mm]	Výška/šířka/délka 292 / 300 / 224 [mm]
K2	cca 15,6 kg	cca 7 kg	cca 6 kg
K3	Nízká složitost	Střední složitost	Nízká složitost
K4	Střední spolehlivost	Vysoká spolehlivost	Vysoká spolehlivost
K5	Maximálně 100 Mb/s	Maximálně 10 Gb/s	Maximální 10 Gb/s
K6	Vysoká kompaktnost	Vysoká kompaktnost	Nízká kompaktnost
K7	98 400 mm ²	46 200 mm ²	38 790 mm ²
K8	Velmi nízká odolnost	Vysoká odolnost	Vysoká odolnost

Tab. 4 Popis variant dle jednotlivých kritérií

4.5 Hodnocení kritérií

Tabulka Tab. 5 obsahuje bodové hodnocení zvolených kritérií pro všechny tři varianty.

Kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C
K1	3	5	4
K2	1	5	5
K3	5	4	5
K4	3	5	5
K5	3	6	6
K6	5	5	3
K7	3	5	5
K8	1	4	4

Tab. 5 Bodové hodnocení variant dle jednotlivých kritérií

4.6 Určení významnosti

Určení významnosti metodou trojúhelníku párů je provedeno v tabulce Tab. 6. Zvolená kritéria jsou označena zeleně.

Porovnávání páry kritérií							Počet voleb v	Pořadí	Váha významnosti q_i
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	2	6	1,167
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8			
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	5	3	1,667
	K3	K4	K5	K6	K7	K8			
		K3	K3	K3	K3	K3	0,5	7	0,917
		K4	K5	K6	K7	K8			
			K4	K4	K4	K4	5,5	2	1,75
			K5	K6	K7	K8			
				K5	K5	K5	4	4	1,5
				K6	K7	K8			
					K6	K6	2	6	1,167
					K7	K8			
						K7	3	5	1,333
						K8	6	1	1,833

Tab. 6 Určení významnosti metodou trojúhelníku párů

4.7 Vyhodnocení kritérií

Vážený index kritéria:

$$I_{ij}^* = I_{ij} \cdot q_i$$

q_i - váha významnosti kritéria

I_{ij} – index změny

V tabulkách Tab. 7, Tab. 8 a Tab. 9 je provedeno vyhodnocení jednotlivých variant.

Kritérium	Varianta A			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I_{ij}^*
K1	3	1,167	3	3,501
K2	1	1,667	1	1,667
K3	5	0,917	5	4,585
K4	3	1,75	3	5,25
K5	3	1,5	3	4,5
K6	5	1,167	5	5,835
K7	3	1,333	3	3,999
K8	1	1,833	1	1,833
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty A:				31,17

Tab. 7 Výsledné hodnocení varianty A

Kritérium	Varianta B			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I_{ij}^*
K1	5	1,167	5	5,835
K2	5	1,667	5	8,335
K3	4	0,917	4	3,668
K4	5	1,75	5	8,75
K5	6	1,5	6	9
K6	5	1,167	5	5,835
K7	5	1,333	5	6,665
K8	4	1,833	4	7,332
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty B:				55,42

Tab. 8 Výsledné hodnocení varianty B

Kritérium	Varianta C			
	Hodnota	Váha významnosti kritéria q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I_{ij}^*
K1	4	1,167	4	4,668
K2	5	1,667	5	8,335
K3	5	0,917	5	4,585
K4	5	1,75	5	8,75
K5	6	1,5	6	9
K6	3	1,167	3	3,501
K7	5	1,333	5	6,665
K8	4	1,833	4	7,332
Celkový součet vážených indexů I_{ij}^* varianty C:				52,836

Tab. 9 Výsledné hodnocení varianty C

4.8 Porovnání výsledků

V tabulce Tab. 10 jsou porovnány konečné výsledky.

Pořadí	Celkový součet vážených indexů I_{ij}^*	Varianta
1	55,4	B
2	52,8	C
3	31,2	A

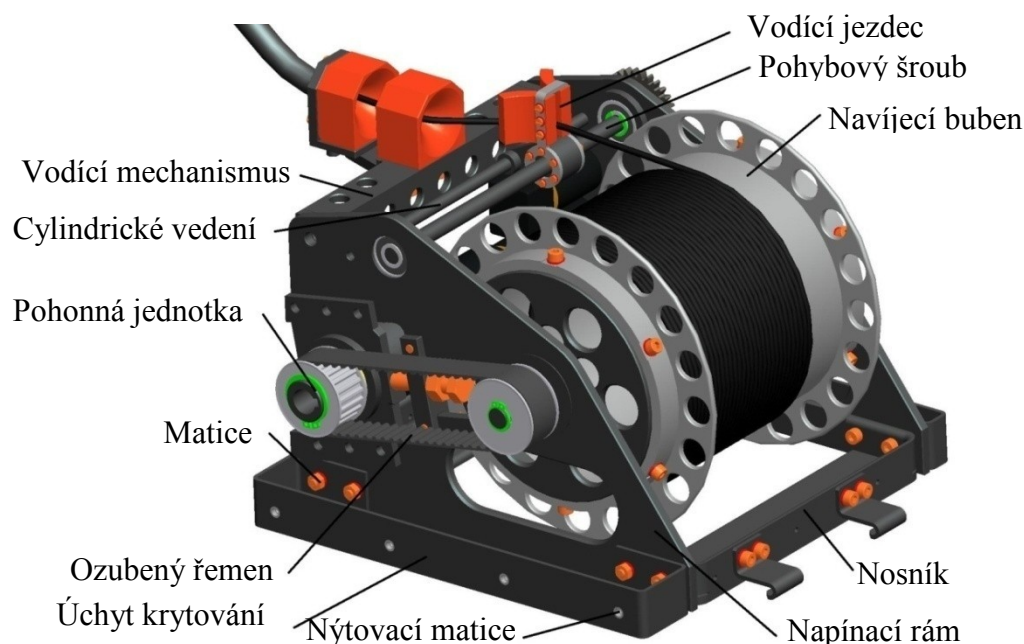
Tab. 10 Porovnání výsledků

Z tabulky Tab. 10 vyplývá, že optimální variantou je varianta B. Tato varianta bude dále konstrukčně řešena.

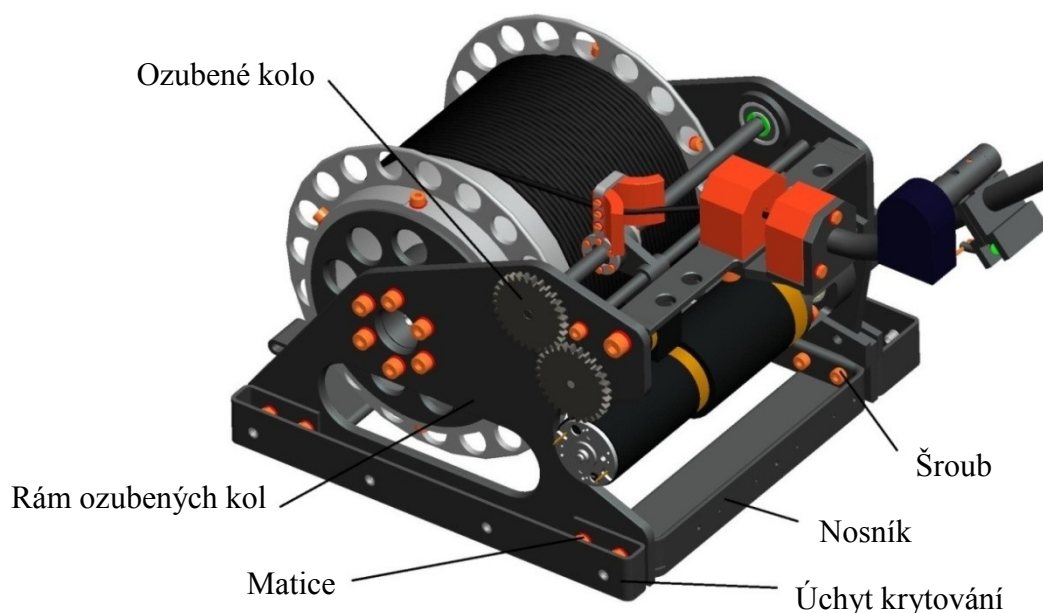
5 POPIS OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5.1 Parametry optimální varianty

- Celková hmotnost (včetně ovládacího kabelu) 8,5 kg
- Celkové rozměry (výška / šířka / délka) 568 / 236 / 866 [mm]
- Ovládací kabel SM optický kabel

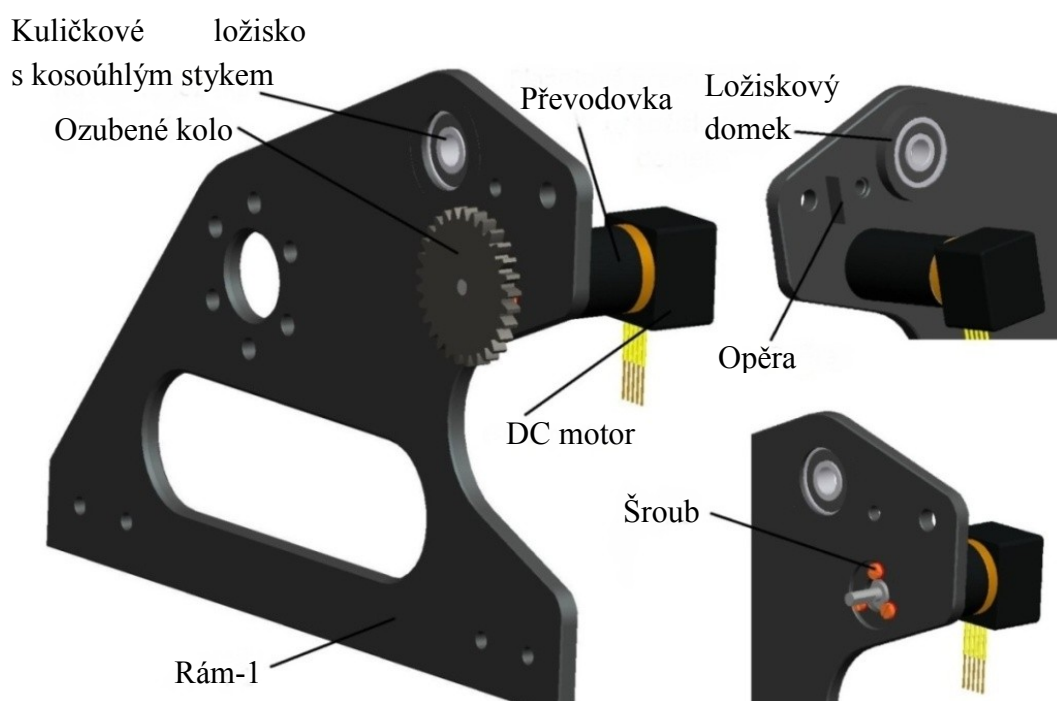
**Obr. 19.** Optimální varianta bez krytování 1

Na obrázcích (Obr. 19.) a (Obr. 20.) je zobrazena optimální varianta navíjecího mechanismu. Základními prvky rámu jsou napínací rám, rám ozubených kol a dva nosníky, pomocí kterých jsou rámy spojeny. Další části navíjecího mechanismu tvoří několik podsestav. Jsou to vodící mechanismus, vodící jezdec, navíjecí buben a motorová jednotka. Pro zajištění snadné montáže a demontáže navíjecího mechanismu je ke spojení podsestav využito šroubových spojů. Dalšími důležitými částmi jsou úchyty krytování. V těchto úchytech jsou vyvrtány otvory, do kterých jsou vloženy nýtovací matice.

**Obr. 20.** Optimální varianta bez krytování 2

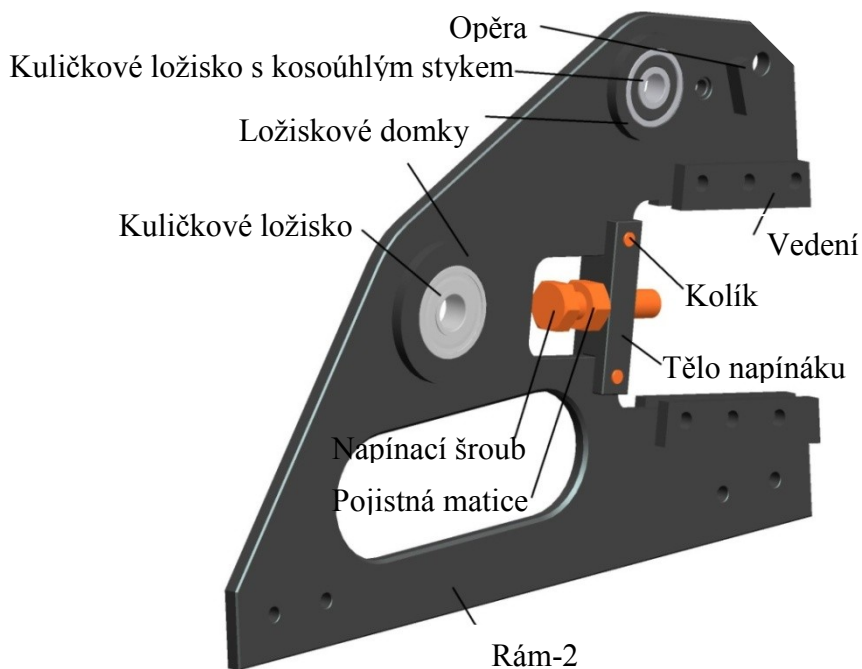
5.2 Rám ozubených kol a napínací rám

Rám ozubených kol (Obr. 21.) a napínací rám (Obr. 22.) jsou vyrobeny z plechu o tloušťce 5 mm s vyvrtanými a vyfrézovanými otvory. K rámu ozubených kol je přivařen ložiskový domek a opěra. Tato opěra slouží k vymezení polohy přiváděcího mechanismu. Pohonná jednotka pohybového šroubu je k rámu ozubených kol přišroubována. Ozubené kolo, sloužící k přenosu pohybu z hřídele převodovky na pohybový šroub, je na hřídeli převodovky pojištěno stavěcím šroubem. Pohonná jednotka pohybového šroubu je řízena na základě otáček pohonné jednotky navíjecího bubnu.



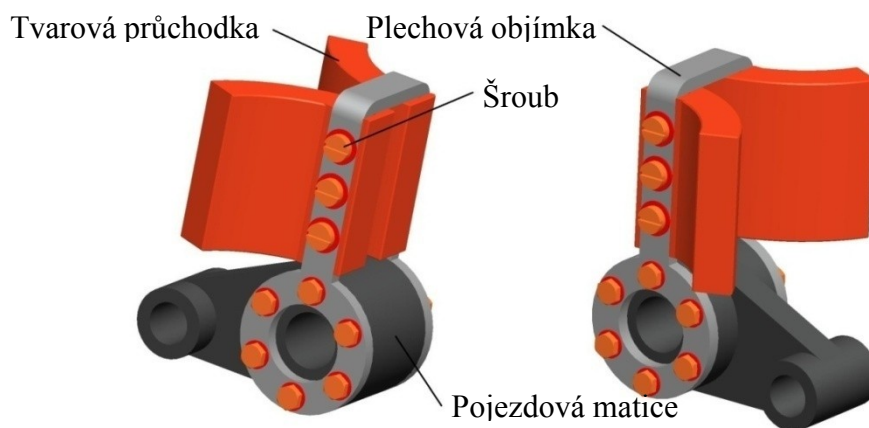
Obr. 21. Rám ozubených kol

K napínacímu rámu jsou přivařeny dva ložiskové domky, opěra a vedení. Toto vedení slouží k zajištění polohy pohonné jednotky navíjecího bubnu. Tělo napínáku je k napínacímu rámu připevněno pomocí dvou nalisovaných kolíků. Napínací šroub slouží k napínání řemenového převodu požadovanou silou. Proti uvolnění je tento šroub pojištěn pojistnou maticí. Pro uložení pohybového šroubu jsou v rámu nalisována dvě oboustranně krytovaná ložiska s kosoúhlým stykem. Třetí ložisko je kuličkové a taktéž oboustranně krytované.

**Obr. 22.** Napínací rám

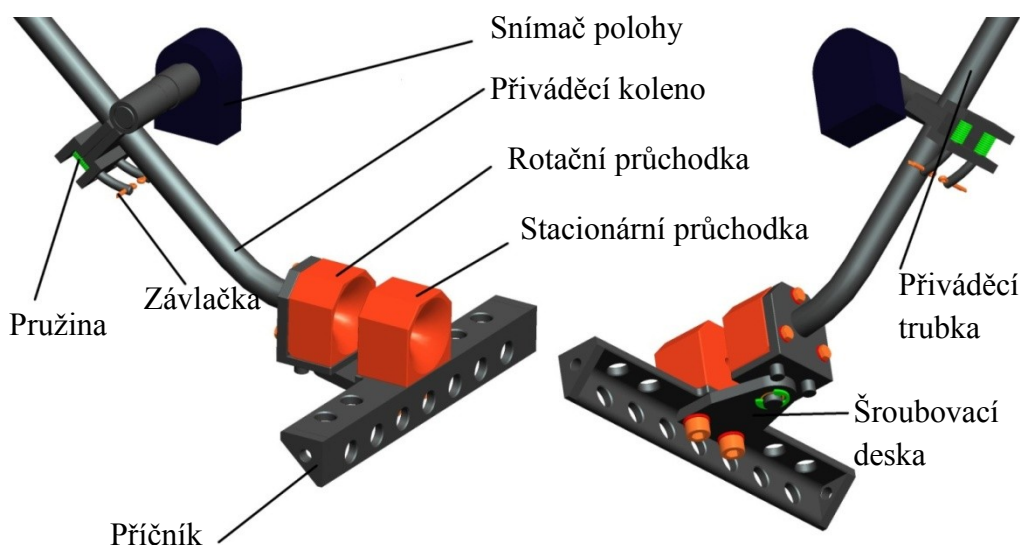
5.3 Vodící jezdec

Vodící jezdec slouží k navádění ovládacího kabelu při jeho navíjení respektive odvíjení. Základní částí je pojezdová matice (Obr. 23.), ve které je našroubován pohybový šroub. Skrze tuto matici je také vedeno cylindrické vedení, které zabraňuje potočení vodícího jezdece okolo osy rotace pohybového šroubu. Spojení tvarových průchodek s pojezdovou maticí zajišťuje přišroubovaná plechová objímka. Tvarové průchodky zajišťují, aby ovládací kabel nebyl ohnut o nižší poloměr, než je minimální dovolený poloměr ohybu ovládacího kabelu.

**Obr. 23.** Vodící jezdec

5.4 Přiváděcí mechanismus

Přiváděcí mechanismus (Obr. 24.) přivádí ovládací kabel k vodící matici. Jak přiváděcí trubka, tak i přiváděcí koleno jsou vyrobeny svařováním. Hlavní díly přitom tvoří ohýbané ocelové trubky. Přiváděcí koleno je ve šroubovací desce uloženo otočně s možností rotace v rozsahu 120° . Ovládací kabel je z přiváděcího kolene veden rotační průchodkou do stacionární průchodky. Tyto průchodky zajišťují dodržení minimálního dovoleného poloměru ohybu ovládacího kabelu i při natáčení přiváděcího kolene do krajních poloh.

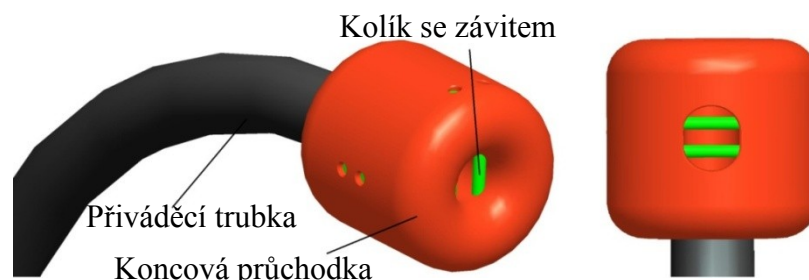


Obr. 24. Přiváděcí mechanismus

Další funkcí přiváděcího mechanismu je odečítání velikosti rozevření kloubu vytvořeného rotačním spojením přiváděcí trubky a přiváděcího kolene. Velikost tohoto rozevření je přímo úměrná velikosti tahové síly v ovládacím kabelu. Pokud dojde ke snížení tahové síly v ovládacím kabelu pod jistou vypočítanou mez, rozevrou tlačné pružiny výše zmíněný kloub. Hodnotu tohoto rozevření neustále monitoruje snímač polohy. Na základě hodnoty rozevření pak řídicí systém servisního robota řídí pohonnou jednotku navíjecího bubnu.

Ukončení přiváděcí trubky je realizováno pomocí koncové průchodky (Obr. 25.), která je jako všechny předchozí průchodky vyrobena z plastu. Koncová průchodka je na konec přiváděcí trubky našroubována. Skrze koncovou průchodku jsou vyvrtány otvory, ve kterých jsou našroubovány kolíky se závitem. Při navíjení prochází ovládací kabel nejprve mezi vertikálně umístěnými kolíky a následně pod horizontálně umístěnými kolíky. Tyto

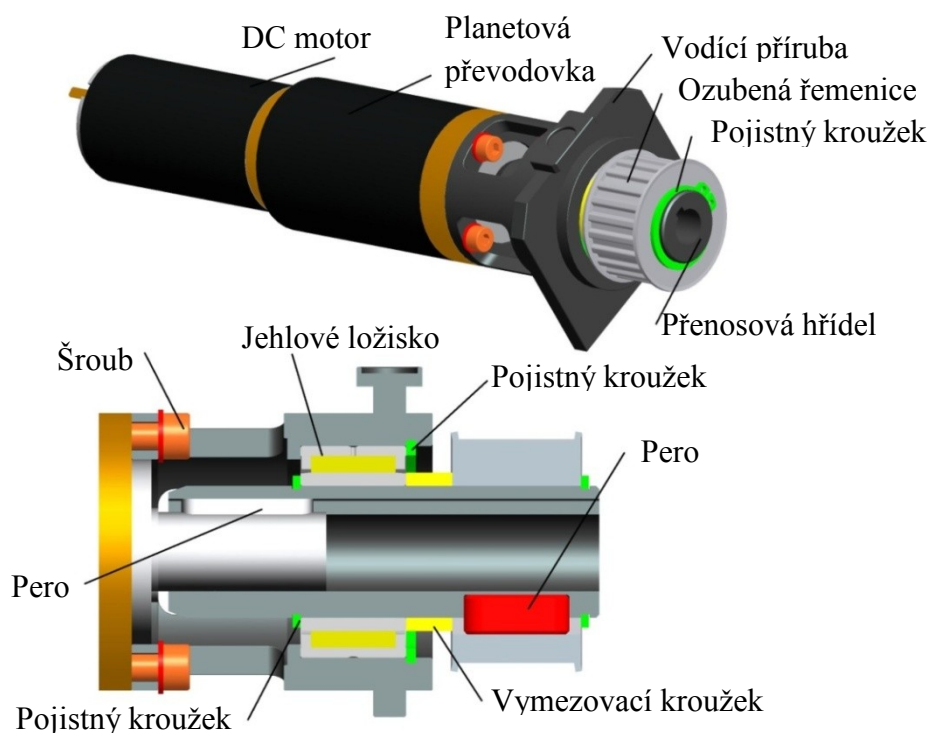
kolíky odstraňují nečistoty z povrchu ovládacího kabelu. Nečistoty propadávají otvorem vyfrézovaným ve spodní části koncové průchodky.



Obr. 25. Koncová průchodka

5.5 Pohonná jednotka navíjecího bubnu

Jednou z hlavních částí pohonné jednotky je vodící příruba (Obr. 26.). Tato příruba slouží v zajištění polohy pohonné jednotky v napínacím rámu. Je řešena jako svařenec a jednotlivé díly tohoto svařence jsou vyrobeny z normalizovaných profilů. K vodící přírubě je pomocí šroubů přišroubována převodovka s motorem. Přenos pohybu z hřídele převodovky na ozubenou řemenici je realizován pomocí přenosové hřídele, která je uložena v jehlovém ložisku nalisovaném ve vodící přírubě. Hřídel převodovky a ozubená řemenice jsou s přenosovou hřídelí spojeny pomocí těsných per.

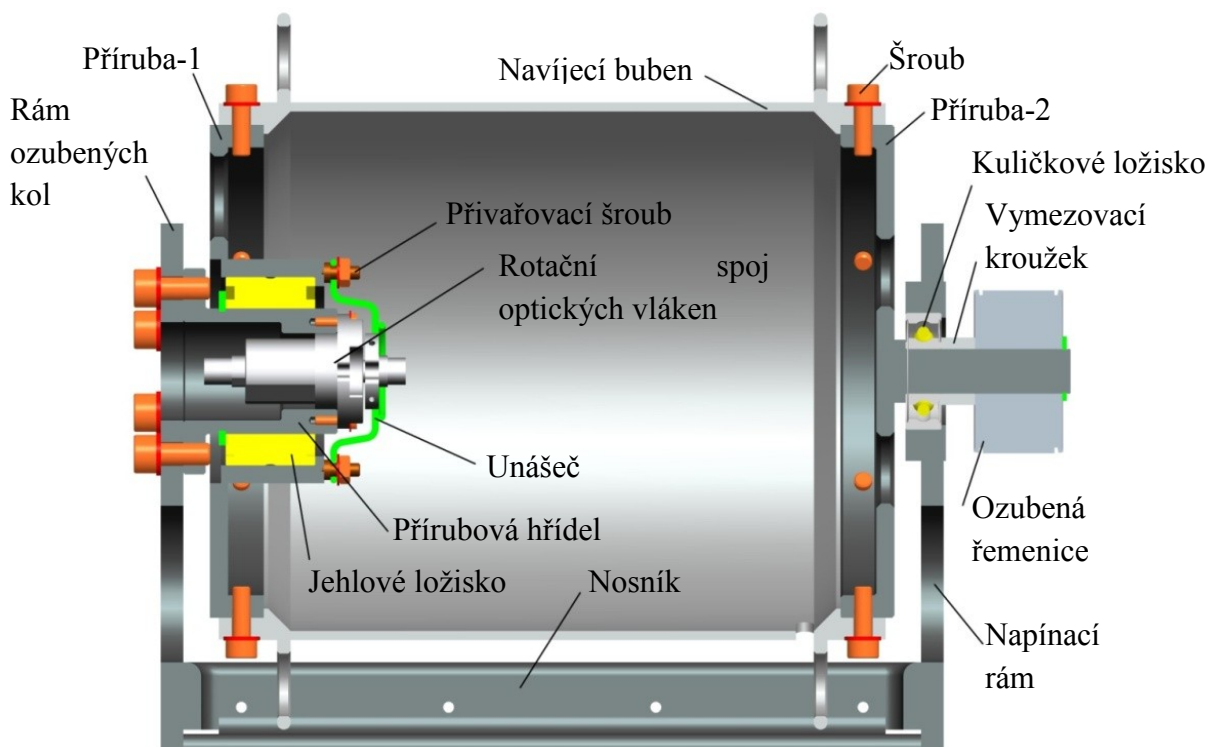


Obr. 26. Pohonná jednotka navíjecího bubnu

5.6 Navíjecí buben

Hlavní částí této podstavy jsou navíjecí buben, příruba-1 a příruba-2. Navíjecí buben je vyroben jako svařenec z hliníkových profilů. Příruba-1 a příruba-2 jsou vyrobeny jako svařence z ocelových profilů. Obě příruby jsou s navíjecím bubnem spojeny šroubovými spoji (Obr. 27.). V přírubě-1 je nalisováno jehlové ložisko. Do tohoto ložiska je nalisována přírubová hřídel. Tato přírubová hřídel je stacionární a je připojena k rámu ozubených kol pomocí šroubových spojů. Do přírubové hřídele je vložena stacionární část rotačního spoje optických vláken, která je k této hřídeli přišroubována. K přírubě-1 jsou přivařeny přivařovací šrouby. Pomocí těchto šroubů je uchycen unášec, který převádí rotační pohyb navíjecího bubnu na pohyblivou část rotačního spoje optických vláken. Optický kabel je do vnitřního prostoru navíjecího bubnu přiveden otvorem vyfrézovaným na obvodu navíjecího bubnu.

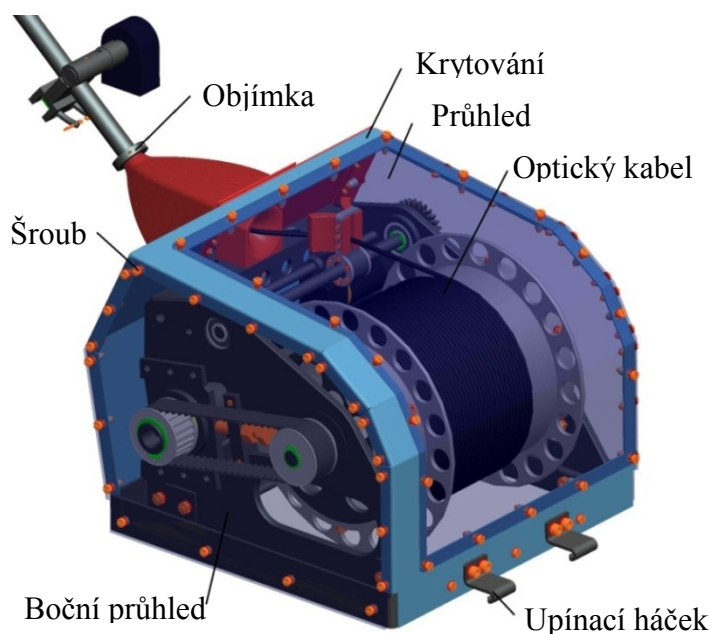
V oblasti hřídele příruby-2 je tato podstava nalisována do oboustranně krytovaného kuličkového ložiska, které je předem nalisováno do napínacího rámu. Ozubená řemenice zde slouží k přenosu pohybu z pohonné jednotky. Proti pootočení je zajištěna těsným perem, proti posunutí v ose rotace pak pojistným kroužkem.



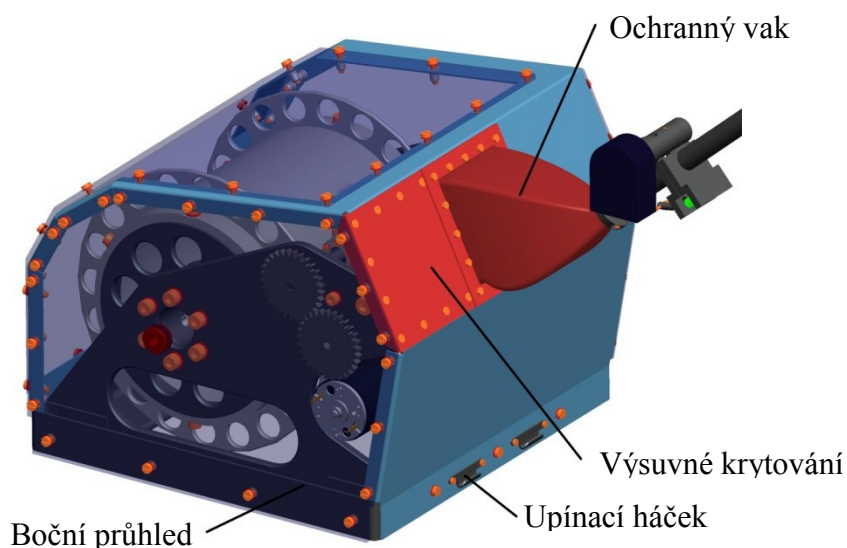
Obr. 27. Navíjecí buben

5.7 Krytování a upevnění navíjecího mechanismu

Hlavní část krytování tvoří ohýbaný plech o tloušťce 1 mm. Je uchycen k oběma nosníkům rámu (Obr. 28.). K zajištění snadného přístupu k navíjecímu mechanismu bez nutnosti demontáže celého krytování jsou v krytování vytvořeny tři otvory, které jsou zakryty průhlednými štíty z Polyethylénteraftalátu o tloušťce stěny 3 mm. Po obvodu všech třech otvorů jsou rozprostřeny nýtovací matice, které jsou přinýtovány k hlavnímu krytování. Průhledné štíty jsou pak přišroubovány šrouby k těmto maticím.



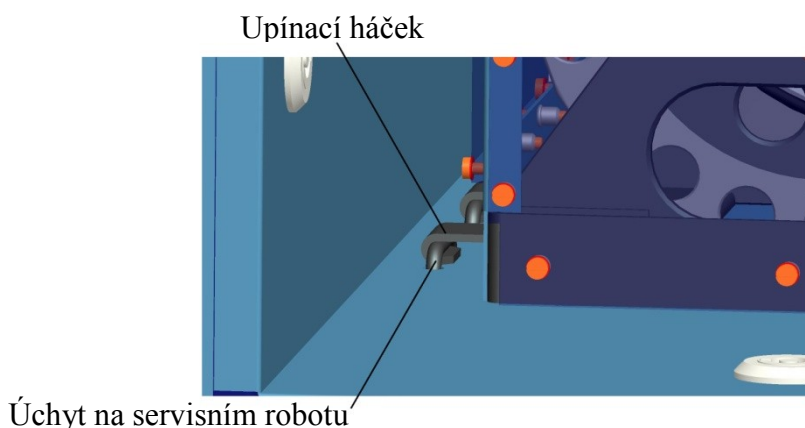
Obr. 28. Optimální varianta – axonometrie 1



Obr. 29. Optimální varianta – axonometrie 2

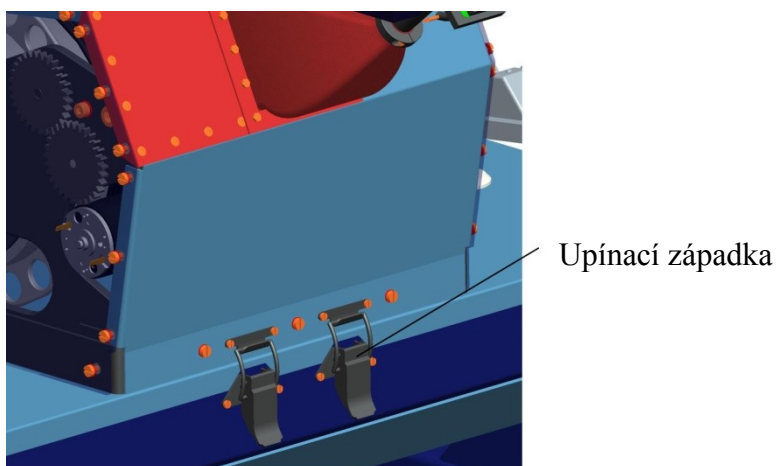
Výsuvné krytování je volně oddělitelné od hlavního krytování (Obr. 29.). Toto umožňuje montáž i demontáž celého krytování. K výsuvnému krytování je pomocí přitlačného plechu upevněn spodní okraj ochranného vaku. Horní okraj je upevněn pomocí objímky. Ochranný vak zakrývá rotační spojení přiváděcího mechanismu a uzavírá tak otvor v krytování.

Upínání navijecího mechanismu je řešeno pomocí upínacích háčků, které jsou přišroubovány k rámu mechanismu. Háčky umístěné na přední části mechanismu se zaháknou do úchytů na servisním robotu (Obr. 30.). Navržené úchyty na servisním robotu jsou vyrobeny z kulatiny o průměru 4 mm.



Obr. 30. Upínání mechanismu - přední

Do háčků na zadní části mechanismu se zachytí upínací západky, které jsou připevněny šroubovými spoji k servisnímu robotu (Obr. 31.).



Obr. 31. Upínání mechanismu - zadní

6 VÝPOČTY

6.1 Předběžný výpočet výkonu motoru navíjecího bubnu

Vstupní parametry:

• Minimální průměr navíjecího bubnu	$D_{Min} = 120 \text{ mm}$
• Průměr ovládacího kabelu	$D = 3 \text{ mm}$
• Maximální střední průměr ovládacího kabelu	$D_6 = 153 \text{ mm}$
• Moment setrvačnosti náboje 1	$I_{N1} = 0,0007 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
• Moment setrvačnosti náboje 2	$I_{N2} = 0,0006 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
• Moment setrvačnosti řemenového kola	$I_{RK} = 0,0000075 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
• Moment setrvačnosti hřídele	$I_H = 0,00000632 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
• Moment setrvačnosti navíjecího bubnu	$I_B = 0,001818 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
• Maximální zrychlení robota	$a_t = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
• Maximální rychlost robota	$v_{Max} = 0,833 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
• Hmotnost 100 metrů ovládacího kabelu	$m_{K100} = 0,75 \text{ kg}$
• Výsledná síla působící na navíjecí buben	$F_6 = 35 \text{ N}$
• Koeficient bezpečnosti předběžného výkonu	$k_1 = 1,5$
• Účinnost ložiska	$\eta_{LO} = 98 \%$

Vstupní parametry představují výsledky výpočtů, které jsou uvedeny v přílohách. Momenty setrvačnosti konstruovaných částí jsou odečteny z programu Pro/ENGINEER Wildfire 5.

Minimální střední průměr ovládacího kabelu:

$$D_{MinS} = D_{Min} + D \quad (1)$$

$$D_{MinS} = 120 + 3$$

$$D_{MinS} = 123 \text{ mm}$$

Průměr D_6 je maximálním středním průměrem ovládacího kabelu navinutého v poslední vrstvě. Proto je pro výpočet momentu setrvačnosti nutné k tomuto

maximálnímu střednímu průměru připočítat průměr ovládacího kabelu D . Pro výpočet momentu setrvačnosti je použit vzorec pro moment setrvačnosti tlustostěnného pláště.

Moment setrvačnosti ovládacího kabelu:

$$I_K = \frac{1}{2} \cdot m_{K100} \cdot \left[\left(\frac{D_6 + D}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{Min}}{2} \right)^2 \right] \quad (2)$$

$$I_K = \frac{1}{2} \cdot 0,75 \cdot \left[\left(\frac{0,156 + 0,003}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,120}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_K = 0,00372 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Celkový předběžný moment setrvačnosti:

$$I_{PC} = I_B + I_K \quad (3)$$

$$I_{PC} = 0,001818 + 0,00363$$

$$I_{PC} = 0,005448 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Pro výpočet potřebného výkonu motoru je nutné nejprve stanovit úhlovou rychlost a úhlové zrychlení při navíjení ovládacího kabelu na minimální a maximální průměr navíjecího bubnu. Tyto hodnoty je nutné vypočítat na středních průměrech první a poslední vrstvy ovládacího kabelu.

Maximální úhlová rychlost navíjecího bubnu:

$$\omega_{BMax} = \frac{2 \cdot v_{Max}}{D_{MinS}} \quad (4)$$

$$\omega_{BMax} = \frac{2 \cdot 0,833}{0,123}$$

$$\omega_{BMax} = 13,54 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Maximální úhlové zrychlení navíjecího bubnu:

$$\epsilon_{BMax} = \frac{2 \cdot a_t}{D_{MinS}} \quad (5)$$

$$\epsilon_{BMax} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,123}$$

$$\epsilon_{BMax} = 8,13 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Minimální úhlová rychlost navíjecího bubnu:

$$\omega_{BMin} = \frac{2 \cdot v_{Max}}{D_6} \quad (6)$$

$$\omega_{BMin} = \frac{2 \cdot 0,833}{0,156}$$

$$\omega_{BMin} = 10,68 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

Minimální úhlové zrychlení navíjecího bubnu:

$$\epsilon_{BMin} = \frac{2 \cdot a_t}{D_6} \quad (7)$$

$$\epsilon_{BMin} = \frac{2 \cdot 0,5}{0,156}$$

$$\epsilon_{BMin} = 6,41 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Maximální a minimální hodnoty úhlové rychlosti, úhlového zrychlení a průměru, na který je kabel navíjen jsou dosazeny do předběžného výpočtu výkonu motoru (8):

$$P_{PM} = \sum M \cdot \omega_B \quad (8)$$

$$P_{PM} = (M_{Pk} + I_{PC} \cdot \epsilon_B) \cdot \omega_B$$

$$P_{PM} = \left(F_6 \cdot \frac{D_6}{2} + I_{PC} \cdot \epsilon_B \right) \cdot \omega_B$$

Jelikož v předběžném výpočtu nejsou zohledněny účinnosti motoru, převodů a také některé hmoty rotujících částí, je nutné výsledný výkon vynásobit bezpečnostním koeficientem k_1 . Při výpočtu potřebného výkonu pro navíjení ovládacího kabelu na minimální střední průměr navíjecího bubnu (9) se však nezapočítává moment setrvačnosti ovládacího kabelu, jelikož v tomto stavu ještě není žádný kabel navinut.

$$P_{PMin} = \left(F_6 \cdot \frac{D_{MinS}}{2} + I_B \cdot \epsilon_{BMax} \right) \cdot \omega_{BMax} \cdot k_1 \quad (9)$$

$$P_{PMin} = \left(35 \cdot \frac{0,123}{2} + 0,001818 \cdot 8,13 \right) \cdot 13,54 \cdot 1,5$$

$$P_{PMin} = 44 \text{ W}$$

Minimální hodnoty úhlové rychlosti, úhlového zrychlení a maximální střední průměr navíjecího bubnu jsou dosazeny do předběžného výpočtu výkonu motoru (8):

$$P_{PMax} = \left(F_6 \cdot \frac{D_6}{2} + I_{PC} \cdot \epsilon_{BMin} \right) \cdot \omega_{BMin} \cdot k_1 \quad (10)$$

$$P_{PMax} = \left(35 \cdot \frac{0,156}{2} + 0,005448 \cdot 6,41 \right) \cdot 10,68 \cdot 1,5$$

$$P_{PMax} = 44,3 \text{ W}$$

Z porovnání výsledků výpočtů (9) a (10) vyplývá, že největší výkon je zapotřebí při navíjení ovládacího kabelu na maximální průměr minimálním zrychlením.

Pro pohon navíjecího bubnu je zvolen motor RE 35 od firmy Maxon. Tento motor je volen z důvodu nízké hmotnosti a kompaktním rozměrům. Viz katalog „Motor RE 35”.

Jmenovitý výkon

$$P_M = 90 \text{ W}$$

Jmenovité napětí

$$U_M = 48 \text{ V}$$

Jmenovité otáčky

$$n_M = 6770 \text{ ot/min}$$

Jmenovitý krouticí moment	$M_M = 0,0977 \text{ Nm}$
Maximální účinnost	$\eta_M = 86 \%$
Moment setrvačnosti	$I_M = 0,0000072 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Hmotnost	$m_M = 0,340 \text{ kg}$
Katalogové číslo	285 787 [16]

Pro změnu parametrů pohybu volím převodovku GP 42 C od firmy Maxon. Viz katalog „*Převodovka GP 42 C*”.

Převod	$i_P = 53$
Moment setrvačnosti	$I_P = 0,0000015 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Maximální krouticí moment	$M_P = 7,5 \text{ Nm}$
Hmotnost	$m_P = 0,460 \text{ kg}$
Maximální účinnost	$\eta_P = 72 \%$
Katalogové číslo	203 121 [17]

6.1.1 Kontrolní výpočet výkonu motoru

Z rovnováhy kinetických energií vypočítáme moment setrvačnosti motoru redukováný na hřídel navíjecího bubnu $I_{M \rightarrow B}$:

$$\frac{1}{2} \cdot I_{M \rightarrow B} \cdot \omega_B^2 = \frac{1}{2} \cdot I_M \cdot \omega_M^2 \quad / \cdot 2 \quad (11)$$

$$I_{M \rightarrow B} \cdot \omega_B^2 = I_M \cdot \omega_M^2$$

$$I_{M \rightarrow B} = \frac{I_M \cdot \omega_M^2}{\omega_B^2}$$

$$I_{M \rightarrow B} = I_M \cdot i_P^2$$

$$I_{M \rightarrow B} = 0,0000072 \cdot 53^2$$

$$I_{M \rightarrow B} = 0,02 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Celkový moment setrvačnosti:

$$I_C = (I_{M \rightarrow B} + I_B + I_{N1} + I_{N2} + I_P + I_K + 2 \cdot I_{\check{R}K} + I_H) \quad (12)$$

$$I_C = (0,02 + 0,001818 + 0,0007 + 0,0006 + 0,0000015 + 0,00372 + 2 \cdot 0,0000075 + 0,00000632)$$

$$I_C = 0,027 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Výkon motoru:

$$P = \sum M \cdot \omega_{BMax} \quad (13)$$

$$P = (M_k + I_C \cdot \epsilon_{BMin}) \cdot \omega_{BMin}$$

$$P = \left(F_6 \cdot \frac{D_6}{2} + I_C \cdot \epsilon_{BMin} \right) \cdot \omega_{BMin}$$

$$P = \left(35 \cdot \frac{0,153}{2} + 0,027 \cdot 6,41 \right) \cdot 10,68$$

$$P = 30,4 \text{ W}$$

Celková účinnost:

$$\eta_C = \eta_M \cdot \eta_P \cdot \eta_{\check{R}P} \cdot \eta_{LO} \cdot \eta_{LO} \cdot \eta_{LO} \quad (14)$$

$$\eta_C = 0,86 \cdot 0,72 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,98$$

$$\eta_C = 0,57$$

Výsledný výkon motoru:

$$P_{MV} = \frac{P_M}{\eta_C} \quad (15)$$

$$P_{MV} = \frac{30,4}{0,57}$$

$$P_{MV} = 53 \text{ W}$$

Z vypočteného výsledného výkonu je jasné, že zvolený motor je z hlediska výkonu předimenzován. V provozu však může nastat celá řada případů, kdy se nároky na pohon značně zvýší. Například při znečištění povrchu ovládací kabelu může dojít ke značnému zvýšení koeficientu tření mezi ovládacím kabelem a vodící trubkou, a následné zvýšení potřebné tahové síly v ovládacím kabelu. Toto zvýšení síly by se následně projevilo zpomalením navíjení, případně jeho úplným zastavením. Z tohoto důvodu ponechám již zvolený motor.

6.1.2 Kontrolní výpočet krouticího momentu motoru

Ve výpočtu porovnáváme maximální krouticí moment přenesený z motoru na hřídel navíjecího bubnu M'_P s maximálním momentem, který způsobí vnější síly a setrvačné účinky soustavy.

$$M'_P \geq M_k + I_C \cdot \epsilon_{BMax} \quad (16)$$

$$M_M \cdot i_P \cdot \eta_C \geq F_6 \cdot \frac{D_{MinS}}{2} + I_C \cdot \epsilon_{BMin}$$

$$0,0977 \cdot 53 \cdot 0,57 \geq 35 \cdot \frac{0,153}{2} + 0,027 \cdot 6,41$$

$$2,95 \text{ Nm} \geq 2,85 \text{ Nm}$$

Z hlediska požadovaného krouticího momentu zvolená pohonná soustava vyhovuje.

7 ZÁVĚR

Po dohodě s vedoucím bakalářské práce Ing. Markem Studénkou byla tato práce vzhledem ke své časové náročnosti zaměřena pouze na konstrukci navíjecího mechanismu ovládacího kabelu.

Bakalářská práce byla vypracována na základě zadání a specifikaci požadavků v požadavkovém listu. Pro zmapování problematiky servisních robotů s pásovým podvozkem ovládaným po kabelu byla vypracována analýza, ze které vyplynulo základní rozdělení těchto robotů, popis pásového podvozku a popis ovládacích kabelů. Dále byly navrženy tři varianty řešení navíjecího mechanismu ovládacího kabelu. Tyto varianty byly vymodelovány v programu Pro/ENGINEER.

Metodou porovnání v trojúhelníku párů byla vybrána optimální varianta. Tato varianta byla následně konstrukčně rozpracována do výsledné varianty. Hlavní části této varianty byly popsány. Ve výpočtové části byla vybrána pohonná jednotka s požadovanými parametry.

Přínos této práce shledávám zejména v konstrukčním zpracování optimální varianty, které může posloužit jako podklad pro další vývoj mechanismů obdobného určení.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 144 s. ISBN 80-248-0626-6.
- [2] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky : Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. první vydání. Úvaly, Havlíčkova 92 : ALBRA, 2003. 865 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [3] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části spojovací*. 1. Vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. 91 s. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [4] Kříž, R. Stavba a provoz strojů I: části strojů - pro 2. roč. SPŠ. Část 1. 1. vyd. Praha: Scientia, 1995. 92 s. ISBN 80-7183-023-2
- [5] NASA [online]. 2.11.2010 [cit. 2011-03-15]. Artist's Concept of Rover on Mars. Dostupné z WWW: <http://www.nasa.gov/mission_pages/mer/multimedia/gallery/pia04413.html>.
- [6] WIRED [online]. April 10, 2008 [cit. 2011-03-15]. Killer Ground 'Bots Out of Iraq: How Come?. Dostupné z WWW: <<http://www.wired.com/dangerroom/2008/04/killer-ground-b/>>.
- [7] Army Technology [online]. 2011 [cit. 2011-03-15]. TeleMAX small bomb disposal robot - telerob. Dostupné z WWW: <<http://www.army-technology.com/contractors/mines/telerob/telerob3.html>>.
- [8] HEJHÁLEK, Jiří. *Stavební technika* [online]. 26.10.2007 [cit. 2011-03-15]. Pásový podvozek VTS na smykem řízené kolové nakladače GEHL, MUSTANG a jiné. Dostupné z WWW: <<http://stavebni-technika.cz/clanky/pasovy-podvozek-vts-na-kolove-nakladace/>>.
- [9] ACKERMAN, Spencer. *WIRED* [online]. November 16, 2010 [cit. 2011-03-15]. Army's Newest Bomb-Stopping Idea: 'Intelligent' Robo-Cart (with Arms). Dostupné z WWW: <<http://www.wired.com/dangerroom/2010/11/armys-newest-bomb-stopping-idea-intelligent-robo-cart-with-arms/>>.
- [10] Roboserv [online]. 2010 [cit. 2011-03-15]. Alquiler de Robots. Dostupné z WWW: <<http://www.roboserv.net/versatrax-150>>.
- [11] Deep Phreatic Thermal Explorer (DepthX) Project [online]. February 11, 2007 [cit. 2011-03-15]. DepthX Field Notes. Dostupné z WWW: <<http://www.frc.ri.cmu.edu/depthx/index.html>>.

- [12] *TFOCA, 1, i, One, Legacy, 2 (Two) Channel Connector, Connectors* [online]. Richmond, Virginia 23228 : 2008 [cit. 2011-03-15]. TFOCA, TFOCA 1, TFOCA i, TFOCA One, Legacy - 2 Channel. Dostupné z WWW: <<http://tfoca-tactical-fiber.com/tfoca-1-I-One-i-Legacy.html>>.
- [13] *Mil-Spec Connector - MIL-ST Connectors* [online]. Richmond, Virginia 23228 : 2008 [cit. 2011-03-15]. Mil-ST Connector - Mil-Spec ST Connectors - Mil-C-83522. Dostupné z WWW: <<http://tfoca-tactical-fiber.com/Mil-C-83522-Military-ST-Connector.html>>.
- [14] MALLAT, Jaroslav. *HPS v IT* [online]. 03.09.2003 [cit. 2011-03-17]. Optické vlákno a kabely. Dostupné z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cislocclanku=2003090203>>.
- [15] Ethernet. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 1.7.2005, last modified on 15.1.2011 [cit. 2011-03-17]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>.
- [16] *Maxon global* [online]. 2010 [cit. 2011-05-13]. DC motors with ironless rotor: Ø6 - 65 mm, 0.3 - 250 watts. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/285787.xml>>.
- [17] *Maxon global* [online]. 2010 [cit. 2011-05-13]. Planetary, spur and special gears. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/203121.xml>>.
- [18] *Optické Kabely | Samsung | atlantis datacom spol. s r.o.* [online]. 2006, 9.2.2007 [cit. 2011-03-17]. SAMSUNG DROP FTTx G.657A . Dostupné z WWW: <http://www.optickekabely.cz/Fttx_drop_cable_bendfree_g657.aspx>.
- [19] *Shenzhen G.T Technology Co.,Ltd* [online]. 2011 [cit. 2011-03-17]. 2 Sfp Slots + 2 Rj45 Slots Media Converter supplier. Dostupné z WWW: <<http://szgttech1.en.busytrade.com/products/info/993801/2-Sfp-Slots--2-Rj45-Slots-Media-Converter.html>>.
- [20] *Princetel* [online]. 2010 [cit. 2011-03-17]. FORJ: Multi-channel fiber optic slip rings. Dostupné z WWW: <http://www.princetel.com/forj_mxn.asp>.
- [21] NAVRÁTIL, David. *Alternetivo - distributor pro síťové technologie a telekomunikace* [online]. 2010 [cit. 2011-03-17]. Media konvertor 1Gbps řady FMC. Dostupné z WWW: <http://www.alternetivo.cz/media-konvertor-1gbps-rady-fmc-wdm-singlemode-10km-sc-simplex-10-100-1000base-t-1000base-bx-tx1310-rx1550nm-typ-a-17db_d19977.html>.
- [22] *Princetel* [online]. 2010 [cit. 2011-03-17]. FORJ: Single-channel fiber optic rotary joints. Dostupné z WWW: <http://www.princetel.com/forj_rpt.asp>.

- [23] *Coefficient of friction, Rolling resistance, Air resistance, Aerodynamics* [online]. 2010 [cit. 2011-05-14]. Coefficient of friction for a range of material combinations. Dostupné z WWW: <<http://www.tribology-abc.com/abc/cof.htm>>.
- [24] *Šroubový spoj* [online]. 2010 [cit. 2011-05-14]. Šroubový spoj. Dostupné z WWW: <<http://www.mitcalc.com/doc/boltcon/help/cz/boltcontxt.htm>>.
- [25] *GM electronic* [online]. 2010 [cit. 2011-05-18]. HEDS-5700I02. Dostupné z WWW: <<http://www.gme.cz/cz/heds-5700i02-p532-090.html>>.
- [26] *Maxon global* [online]. 2010 [cit. 2011-05-13]. DC motors with ironless rotor: Ø6 - 65 mm, 0.3 - 250 watts. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/339261.xml>>.
- [27] *Maxon global* [online]. 2010 [cit. 2011-05-13]. Planetary, spur and special gears. Dostupné z WWW: <<http://shop.maxonmotor.com/ishop/article/article/134162.xml>>.
- [28] *Sylomer Technické listy* [online]. 2010 [cit. 2011-05-18]. Sylomer SR28. Dostupné z WWW: <<http://www.akustikad.com/cz/download/Technick%C3%A1%20dokumentace/SYLOMER%20SR%20-%20Technick%C3%A9%20listy/Sylomer%20SR28.pdf>>.

9 PŘÍLOHY

Příloha 1	Princip komunikace	
Příloha 2	Výpočet rozměrů navíjecího bubnu	
Příloha 3	Výpočet vnějších sil působících na navíjecí buben	
Příloha 4	Výpočet potřebné síly a rozměrů tlačné pružiny	
Příloha 5	Návrh pohonné jednotky vodícího mechanismu	
Příloha 6	Kontrolní výpočet maximální síly v ovládacím kabelu	
Příloha 7	Kontrolní výpočet napínacího šroubu	
Příloha 8	Návrh a kontrola kolíkového spoje	
Příloha 9	Výkresová dokumentace:	
	<ul style="list-style-type: none"> Sestavný výkres „<i>Navíjecí mechanismus</i>” Sestavný výkres „<i>Vodící jezdec</i>” Sestavný výkres „<i>Motorová jednotka</i>” Sestavný výkres „<i>Bočnice ozubených kol</i>” Sestavný výkres „<i>Napínací bočnice</i>” Sestavný výkres „<i>Příváděcí mechanismus</i>” Sestavný výkres „<i>Navíjecí buben</i>” Sestavný výkres „<i>Krytování</i>” Sestavný výkres „<i>Výsuvný kryt</i>” Kusovník „<i>Navíjecí mechanismus</i>” Kusovník „<i>Motorová jednotka</i>” Kusovník „<i>Bočnice ozubených kol</i>” Kusovník „<i>Napínací bočnice</i>” 	PRO473 - S01 PRO473 - PS01 PRO473 - PS02 PRO473 - PS03 PRO473 - PS04 PRO473 - PS05 PRO473 - PS06 PRO473 - PS07 PRO473 - PS08 PRO473 - K01 PRO473 - K02 PRO473 - K03 PRO473 - K04
Příloha 10	CD „Bakalářská práce – PRO473”	
	Obsah:	
	<ul style="list-style-type: none"> Výkresová dokumentace v AutoCADu Modely tří variant v programu Pro/ENGINEER Model výsledné varianty v programu Pro/ENGINEER Bakalářská práce.docx Přílohy bakalářské práce Katalogy <ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor EC 32 	

- Motor RE 35
- Převodovka GP 22 A
- Převodovka GP 42 C
- Rotační snímač polohy HEDS-5700
- Polyuretan
- Výpočty provedené v programu MitCalc:
 - Řemenový převod
 - Ozubená kola
 - Jehlové ložisko

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Marku Studénkovi z katedry robototechniky VŠB - TU Ostrava za přínosné rady a vedení při vypracování bakalářské práce.